

Tartu Ülikool
Loodus- ja täppisteaduste valdkond
Ökoloogia ja maateaduste instituut
Geograafia osakond

Magistritöö loodusgeograafias

**Pikaajalised muutused lumikatterežiimis Eestis perioodil
1951–2015**

Birgit Viru

Juhendaja: prof Jaak Jaagus

Kaitsmisele lubatud:

Juhendaja:

Osakonna juhataja:

allkiri, kuupäev

Tartu 2016

Pikaajalised muutused lumikatterežiimis Eestis perioodil 1951–2015

Käesoleva töö eesmärgiks oli analüüsida püsiva lumikatte algus- ja lõpukuupäeva ning kestuse aastatevahelist ja territoriaalset muutlikkust Eestis; analüüsida lume paksuse sesoonset, aastatevahelist ja territoriaalset muutlikkust ning teha kindlaks pikaajaliste muutuste olemasolu nendes näitajates perioodil 1951–2015. Kasutati ööpäevaseid lumikatte paksuse andmeid 11-st jaamast kogu perioodi kohta ning täiendavalt 13-ne jaama lühemate aegridade andmeid. Kuna lumikatte andmestik ei olnud normaaljaotusega, siis kirjeldati lumikatte näitajaid mediaani ja kvartiilihaarde abil ning trendiarvutused tehti Mann-Kendalli testiga. Leiti, et püsiva lumikatte kestuses on negatiivne trend, mis tuleneb eelkõige lumikatte varasema sulamise arvelt kevadel. Aasta maksimaalse lumikatte puhul täheldati negatiivset trendi, mis oli statistiliselt oluline neljas jaamas. Lumikatte paksuse puhul esineb Eestis keskmiselt jaanuarist kuni märtsi lõpuni negatiivne trend, mis on suurim veebruari lõpus ning märtsi algul, millal esineb ka statistiliselt olulisi trende.

Märksõnad: püsiva lumikatte kestus, lume paksus, Mann-Kendalli trendianalüüs

CERCS: P510 klimatoloogia

Long-term changes in snow regime in Estonia during 1951–2015

The aim of this study was to analyse spatial and temporal variability of the start and end dates and duration of the permanent snow cover; spatial, temporal and seasonal variability of median and maximum snow depth in Estonia and to determine the presence of long-term changes of these parameters during the period 1951–2015. Daily average snow depth series of 11 meteorological stations for the full period and 13 additional stations for shorter periods were processed in order to obtain reliable estimates of changes in the snow regime. Cause the snow cover data was not normally distributed, the snow cover characteristics were described with median and quartile range. Linear trends were made by using Mann-Kendall trend test. It was found that there was a negative trend in duration of snow cover due to earlier melting in the spring. There was a negative trend on maximum snow cover, that was statistically significant at four stations. In snow depth there was a negative trend from January to the end of March. This tendency was the largest at the end of February and the beginning of March, when trends were statistically significant at most stations.

Keywords: duration of permanent snow cover, snow depth, linear trend coefficients

CERCS: P510 climatology

Sisukord

Sissejuhatus	5
1. Varasemad lumikatte uuringud maailmas ja Eestis	8
1.1 Põhja-Ameerika	8
1.2 Euraasia	9
1.2.1 Hiina	9
1.2.2 Euroopa.....	10
1.2.3 Eesti	13
2. Andmed ja metoodika.....	15
3. Tulemused ja arutelu	19
3.1 Pikaajalised muutused püsivas lumikattes.....	19
3.1.1 Püsiva lumikatte algus	19
3.1.2 Püsiva lumikatte lõpp	22
3.1.3 Püsiva lumikatte kestus	25
3.1.4 Püsiva lumikatte trendid	28
3.2 Aasta maksimaalne lume paksus ja selle pikaajalised muutused	35
3.2.1 Aasta maksimaalse lume paksuse territoriaalne jaotus.....	35
3.2.2 Pikaajalised muutused aasta maksimaalses lume paksuses	36
3.3 Lumikatte paksuse sesoonne dünaamika	40
3.4 Trendid lumikatte paksuses	46
4. Kokkuvõte	49
Summary.....	50
Tänuavaldused	52

Kasutatud kirjandus	53
Lisad	59
Lisa 1. Dekaadide ja kuude mediaan keskmine lume paksus (cm) novembrist märtsini perioodil 1951–2015.....	59

Sissejuhatus

Kliima soojenemine ja selle võimalikud tagajärjed on viimaste aastakümnete jooksul olnud aktuaalne teema. Maakera keskmine õhutemperatuur on IPCC (*Intergovernmental Panel of Climate Change*) raporti järgi alates 1880. aastast tõusnud $0,85^{\circ}\text{C}$ võrra ning erinevate stsenaariumide korral ennustatakse käesoleva sajandi lõpuks $2\text{--}5^{\circ}\text{C}$ temperatuuri tõusu (IPCC; 2013). Temperatuur määrab paljuski ära, millisel kujul sademed külmal poolaastal maapinnale jõuavad ning kui püsiv on lumikate, sest lumikate on kliima kõikumiste tundlik indikaator.

Lumikate on krüosfääri osa. *Kryos* tuleneb kreeka keelest ja tähistab külma. Krüosfäär hõlmab kõiki Maa veesüsteemi osi, mis on tahkes olekus – merejää, jõe- ja järvejää, liustikud, mandrijää, külmunud maapind (sh igikelts) ning lumikate. Lumikate on ruumilise ulatuse poolest aastaringselt külmunud maapinna järel teine krüosfääri osa. Keskmiselt saavutab lumikate põhjapoolkeral maksimaalse ulatuse jaanuaris ning augustis on lumikatte pindala minimaalne (Estilow *et al.*, 2015). Lumikatte keskmine maksimaalne ulatus on 47 miljonit km^2 (Armstrong & Brun, 2008). Maksimaalne lumikatte ulatus põhjapoolkeral 2014. aasta veebruaris oli 46,8 miljonit km^2 ning vähim, 2,6 miljonit km^2 , augustis (Blunden & Arndt, 2015). Aasta keskmine lumikatte ulatus on Estilow *et al.* (2015) andmetel 25,1 miljonit ruutkilomeetrit. Maksimaalne lume paksus varieerub mõnest sentimeetrist (piirkonnad, kus lumesajud on harvad) kuni mitme meetrini niisketes külmades mägede regioonides (Armstrong & Brun, 2008).

Lume teke on võimalik piisavalt madalal temperatuuril kujunenud pilvedes, mis koosnevad jääkristallidest või jääkristallide ja allajahtunud veepiiskade segust. Tuumadeks olevad jääkristallid liituvad veepiisakestega, mis ühinemise käigus külmuvad ning lisanduvad jääkristalli kristallilisse struktuuri. Lumesadude tagajärjel maapinnale või jääle kujunenud lumekihti nimetatakse lumikatteks.

Lumikatel on tähtis roll kliimasüsteemis, sest kõige tähtsamad lume omadused – suur albeedo, väike soojusjuhtivus ning võime muutuda ühest olekust teise – põhjustavad energiaülekandeid maapinna ja atmosfääri vahel. Lume suure albeedo tõttu peegeldub suurem osa lumepinnale langenud lühilainelisest kiirgusest. Suure albeedo ja tugeva kiirgusvõime tõttu jahutab lumi märkimisväärselt peal lasuvat õhukihti – jahe ilm omakorda soodustab täiendavat lume akumulatsiooni lumesadude tagajärjel. Kui aga lumi on hakanud sulama ja albeedo vähenema, siis see omakorda kiirendab lume sulamist. Lumikate avaldab Maa kiirgusbilansile suurimat

mõju kevadel. Paksu lumikattega talvedel on aluspinna albeedo suur, mistõttu on lühilaineline kiirgusbilanss madal. Lume sulamine on hilisem ning lume sulamiseks kulub palju soojust, mistõttu on maapinnalähedane õhutemperatuur kevadel madalam (Tooming, 2003).

Lumi (eriti värske kohev lumi) on väikese soojusjuhtivusega. Seetõttu on lumikate heaks isolaatoriks lumikatte kohal lasuva õhu ja all oleva maapinna vahel, mistõttu on lumealune temperatuur võrdlemisi ühtlane ka suurte välisõhu temperatuuri kõikumiste korral. Lumikatte paksusest tulenevalt võib maapinna temperatuur olla lume pinnal olevast 20–40°C kõrgem (Frey, 1998). Piisavalt paksu lumikatte korral on kaitstud nii lume all olevad taimed ja loomad kui ka mitmesugused tehnosüsteemid. Samas liiga paksu lume korral võivad taimed ära haududa. Haudumine tekib siis, kui lumi tuleb sulale maale. Kuna taimed asuvad lume all pimedas ja soojas, siis fotosünteesi ei toimu, kuid hingamine on intensiivne. Taimed kasutavad kevadeks toitainetagavarad ära ning kevadine temperatuuride vaheldumine kahjustab nõrgenenud taimi lõplikult.

Talve jooksul maapinnale langenud lumi on oluline kevadises niiskuse režiimis, sest üks osa lumesulamisveest imbub mulda, olles vegetatsiooniperioodi alguses taimedele oluliseks niiskuse allikaks. Osa lumesulamisveest valgub jõgedesse, suurendades vooluhulki, mis on tähtis hüdroenergia tootmise seisukohalt.

Paljud inimtegevuse valdkonnad sõltuvad lumikatte olemasolust ja lumikatte kvaliteedist. Näiteks talve- ja suusaturismi ettevõtetele on kasumlikud pikad ja lumerohked talved. Samas võib lumi põhjustada tõrkeid transpordisüsteemides, kahjustada sidesüsteeme ning põllukultuure ja murda puid. Talvine teede ja tänavate lumest puhastamine on tööjõu- ja ressursimahukas. Liialt paks ja raske lumikate on ohuks hoonetele.

Käesoleva töö eesmärgiks on

1. Analüüsida püsiva lumikatte algus- ja lõpukuupäeva ning kestuse aastatevahelist ja territoriaalset muutlikkust Eestis.
2. Analüüsida lumikatte paksuse aastatevahelist ja territoriaalset muutlikkust Eestis.
3. Uurida lumikatte sesoonset dünaamikat.
4. Teha kindlaks pikaajaliste muutuste olemasolu lumikatte näitajates perioodil 1951–2015.

Töö peamisteks hüpoteesideks on püsiva lumekatte kestuse lühenemine kogu perioodi vältel (eelkõige püsiva lumikatte varasema sulamise arvelt); püsiva lumikatte kestuse suur

territoriaalne varieeruvus (eeldatavalt on lumikatte kestus Lääne-Eesti rannikul ja saartel mere mõju tõttu mandrialast oluliselt lühem); lumikatte paksuse vähenemine.

Töö põhiosa koosneb kolmest peatükist. Esimeses osas antakse teoreetiline ülevaade lumikatte uuritusest maailmas ja Eestis. Teises peatükis kirjeldatakse andmeid ning metoodikat. Viimane peatükk sisaldab tulemusi ning arutelu.

1. Varasemad lumikatte uuringud maailmas ja Eestis

Viimase 90 aastaga on nii satelliit- kui ka maapinna mõõtmiste andmetel põhjapoolkera lumikatte ulatus märkimisväärselt vähenenud (Robinson & Dewey, 1990; Brown & Robinson, 2011; Estilow *et al.*, 2015). Lumikatte ulatuse vähenemine on suurim kevadel, peamiselt märtsis ja aprillis, ning suvel, millal lumikatte ulatus on vähenenud vastavalt 0,58 ning 0,81 miljonit ruutkilomeetrit kümnendi kohta (Estilow *et al.*, 2015). Alates 1973. aasta talvest on põhjapoolkera lumeperiood NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) andmetel varasema kevadise lumesulamise tõttu lühenenud 5,3 päeva kümnendi kohta (IPCC, 2013). Choi *et al.* (2010) uurisid satelliitandmeid kasutades ajalisi ja ruumilisi muutusi põhjapoolkera lumeperioodis perioodil 1972–2008. Leiti, et lumikatte kestus on põhjapoolkeral keskmiselt vähenenud 5,3 päeva kümnendi kohta, seda eriti lumikatte varasema kadumise tõttu kevadel (5,5 päeva kümnendis). Samas püsiva lumikatte kestuses ei leitud mingit trendi. Choi *et al.* leidsid, et Arktika aladel algab lumeperiood oktoobri lõpus (püsiv lumikatte moodustub ligi kuu aega hiljem) ning lõppeb juulis, kestes kuni 9 kuud. Väiksematel kesklatiitudel algab lumeperiood jaanuari keskel ja lõppeb järgneval kuul kestes vähem kui üks kuu. Põhja-Ameerika kesklatiitudel on Choi *et al.* andmetel lumeperioodi kestus perioodil 1967–2008 lühenenud 5–10 päeva, kirdeosas 5–10 päeva ning piki Kaljumäestikku 15–45 päeva. Lume hulga vähenemist Kaljumäestikes on täheldanud ka Pederson *et al.* (2013).

1.1 Põhja-Ameerika

Peng *et al.* (2013) uurisid muutusi lumikatte algus- ja lõpukuupäevades põhjapoolkeral ligi kolme aastakümne jooksul (1980–2006), kasutades 636 meteoroloogiajaama andmeid, ning jõudsid järeldusele, et Põhja-Ameerikas ei esine statistiliselt olulisi muutusi lumikatte algus- ja lõpukuupäevas.

Dyer ja Mote (2006) on vaatlusjaamade igapäevastele lumikatte andmetele tuginedes uurinud muutusi lume paksuses Põhja-Ameerikas perioodil 1960–2000. Analüüsi käigus selgus, et jaanuaris on aset leidnud lume paksuse väike vähenemine ning märtsis ja aprillis on lume paksus vähenenud tunduvalt varasema lumikatte sulamise tõttu. Enim on Dyer' i ja Mote andmetel lume paksus vähenenud Kesk-Kanada piirkonnas aprillis (üle 10 sentimeetri kümnendi kohta) ning Ameerika Ühendriikide põhjaosas märtsis (5–10 sentimeetrit kümnendi kohta).

1.2 Euraasia

Euraasias varieerub lumikatte kestus 70 päevast Lõuna-Siberis kuni 225 päevani põhjas (Ye & Ellison, 2003). Euraasia keskklaiustel on Choi *et al.* (2010) andmetel ajavahemikus 1967–2008 lumeperioodi kestus lühenenud 5–25 päeva. Trende lumikatte kestuses Euraasias on uurinud ka Bulygina *et al.* (2009), kes kasutasid 820 vaatlusjaama andmeid perioodil 1966–2007. Jõuti järeldusele, et Lõuna-Siberi mägi-regionides ja Euroopa Venemaa põhjaosas on lumikatte kestus lühenenud (4–6 päeva/10a) ning Kaug-Idas ja Jakuutias pikenenud. Nende andmetel esineb Venemaa lääneosas, Loode-Siberis, aasta keskmise lume paksuse statistiliselt usaldusväärne kasvutrend vaatamata lumikatte kestuse lühenemisele ning Lõuna-Siberi mägistes piirkondades on tendents lume paksuse vähenemise suunas, mis pole statistiliselt usaldusväärne. Samas leidsid Ye ja Ellison (2003), et perioodil 1937–1994 on püsiv lumikatte pikenenud 4 päeva kümnendi kohta Euroopa Venemaa põhjaosas ning väiksemates piirkondades Lääne- ja Kesk-Siberis, kuid lühenenud 2 päeva võrra kümnendis Lõuna- ja Kagu-Siberis. Seega oleneb trendide olemasolu ja suund lumikatte kestuses oluliselt ka uurimisperioodist. Kuigi lumikatte kestus Põhja-Euraasias on lühenenud, eelkõige varasema, lühema ning intensiivsema lumesulamise arvet, on maksimaalne lume paksus suurenenud peaaegu kogu Venemaal (Bulygina *et al.* 2011). Ida-Euroopas, Kirovis, on keskmine lume paksus alates 1950. aastast suurenenud 3,9 sentimeetrit kümnendis, enne seda aga vähenes lume paksus 4 sentimeetrit kümnendi kohta (Bednorz & Kossowski, 2004). Lõuna pool asuvas Nižni Novgorodis on alates 1908. aastast lume paksus vähenenud (alla 1 cm kümnendis) (Bednorz & Kossowski, 2004). Euraasia edelaosas, Iraanis, on täheldatud statistiliselt olulisi negatiivseid trende lumikatte kestuses ning lume paksuses perioodil 1981–2011 (Arkian *et al.*, 2014).

1.2.1 Hiina

Lumikatet on palju uuritud Hiinas ning leitud, et lumikatte ajaline ja ruumiline muutlikkus on suur (Ke *et al.*, 2009; Shi *et al.*, 2011; Ma & Qin, 2012; Wang & Li, 2012; Ji & Kang, 2013). Ke *et al.* (2015) uurisid lumikatte kestust Hiinas (1952–2010) ning leidsid, et Tiibeti mägismaal, Kirde-Hiinas ning Põhja-Xinjiangis on vähemalt 60 lumepäeva; Kirde-Hiina mägiapiirkondades vähemalt 90 lumepäeva ning Sise-Mongoolias, Arxanis, keskmiselt 169 lumepäeva. Lumikatte teke on statistiliselt oluliselt hilisemaks nihkunud Kirde-Hiinas ning Tiibeti mägismaa kesk- ja idaosas. Lumeperioodi lühenemise tendentsi Tiibeti mägismaa ida- ja keskosas kinnitasid ka You *et al.* (2011). Suuremas osas Hiinas on lume sulamine nihkunud varasemaks, statistiliselt oluliselt Kirde-Hiinas ning Tiibeti mägismaal (perioodil 1951–2010) (Ke *et al.*, 2015). Tang *et*

al. (2012) täheldasid, et Tiibeti mägismaa lääne- ja kaguosas on selge lumikatte kestuse lühenemise trend (maksimaalselt 9 päeva kümnendi kohta perioodil 1971–2010). Lumikatte kestuse lühenemist on täheldatud Kagu-Hiinas, kus lumikatte algus on lükkunud hilisemaks 1,9 päeva võrra kümnendis ning lõpp on nihkunud varasemaks (1,6 päeva/10a perioodil 1951–2006) (Li *et al.*, 2009). Xi *et al.* (2009) kinnitasid lumikatte kestuse lühenemise trendi perioodil 1961–2000 ka Loode-Hiinas Hetao regioonis ning selle ümbruses. Teisalt leidsid Wang *et al.* (2009), et 1960–1980 pikenes lumikatte kestus Loode-Hiinas Xinjiaangi regioonis. Samuti on täheldatud lume paksuse nõrka positiivset trendi perioodil 1951–1997 Loode-Hiinas (Qin *et al.*, 2006). Muutusi lume paksuses Hiinas on uurinud Peng *et al.* (2010) ja You *et al.* (2011). Lume paksuse suurenemise trendi perioodil 1980–2005 täheldati Kirde- ja Loode-Hiinas, Sise-Mongoolias (Peng *et al.*; 2010) ning Tiibeti mägismaa lääne- ja keskosas (perioodil 1961–2005) (You *et al.*, 2011), vähenemise trendi Kesk- ja Ida-Hiinas.

1.2.2 Euroopa

Euroopas on piirkondi, kus lumikatte kestus ning lume paksus on vähenenud kui ka regioone, kus hoolimata lühenenud lumeperioodist ning globaalse temperatuuri tõusust on lumikatte paksus suurenenud (Kitaev *et al.*, 2010, *cit* The BACC II Author Team, 2015). Lumepäevade arv Ida-Euroopas kasvab edelast kirde suunas, kestes Musta mere ääres paarkümmend ning Kirde-Euroopas üle 200 päeva (Bednorz, 2004). Rumeenias kõigub keskmine lumikatte kestus 12 päevast Musta mere rannikul kuni 147 päevani mägistel aladel (Cazacioc, 2007).

Itaalia Alpides esineb pikaajaline lumikatte kestuse vähenemise trend (Valt & Paola, 2013). Alla 1,5 kilomeetri kõrgustel aladel on lumikatte kestus vähenenud 19 päeva perioodil 1991–2000 ning 11 päeva järgneva kümne aasta jooksul. Kõrgematel aladel on lumikatte kestuse lühenemine väiksem, vastavalt 13 ja 8 päeva. (Valt & Paola, 2013) Lumikatte kestuse lühenemist on täheldatud samuti Šveitsi Alpides, kus Marty (2008) andmetel leidis 1980-ndatel aset režiiminihe. Alates sellest ajast on lumeperiood Alpide põhjapoolsetel aladel lühenenud kahe nädala võrra ning lõunapoolsetel kolme nädala võrra.

Põhja-Saksamaal on lumikatte kestuse varieeruvus suur, ulatudes 15 päevast läänes kuni 40 päevani idas. Lumepäevade arv on 20. sajandi teisel poolel (1950/51–1999/2000) Põhja-Saksamaal kahanenud., 4 päeva kümnendis põhjapoolsetes piirkondades ning 1 päev kümnendis läänepoolsetel aladel. Lumikatte keskmine maksimaalne paksus Põhja-Saksamaa lääneosas on 8 sentimeetrit ning kirdes 15 sentimeetrit. Lumikatte maksimaalne paksus on keskmiselt vähenenud 1,5 sentimeetrit kümnendis. (Bednorz, 2007)

Läänemere regiooni edelaosas on lumikatte kestus vähenenud, kuna talvised sademed esinevad üha enam vihmana kui lumena. Lumikatte kestuse lühenemist on täheldatud ka Lääne-Skandinaavias ning Ida-Euroopa lauskmaa edelaosas (The BACC II Author Team, 2015). Enamikes Läänemere regioonides on lumikatte kestus lühenenud varasema kevadise sulamise tõttu kõrgema kevadise temperatuuri mõjul.

Suuremas osas Norra piirkondades on lumikatte kestus 20. sajandi jooksul lühenenud ning lume paksuses tähelepanuväärseid trende ei esine (Dyrrdal, 2009, Dyrrdal & Vikhamar-Schuler, 2009; Dyrrdal *et al.*, 2013). Dyrrdal (2009) uuris põhjalikult muutusi lumepäevade arvu Norras, kasutades 585 vaatlusjaama andmeid. Dyrrdal täheldas üldist lumepäevade arvu vähenemist perioodil 1961–1990, eriti Norra kaguosas ning kogu lõunarannikul. Keskmise lumepäevade arv Edela-Norra rannikualadel on 15–16 päeva ning mägistel sisealadel ja Norra põhjaosas esineb üle 230 lumepäeva aastas (kuni 9 kuud). Dyrrdal ja Vikhamar-Schuler (2009) leidsid, et ajavahemikus 1883–2007 on lumeperiood lühenenud ning lumepäevade arv vähenenud peaaegu kogu Norras.

Rootsis 20. sajandi jooksul (1905–2003) lumikatte kestuses statistiliselt usaldusväärseid muutusi ei esinenud, kuid 20. sajandi teisel poolel (1961–2003) on lumepäevade arv Lõuna-Rootsis kahanenud 20–40% (Larsson, 2004, *cit* The BACC II Author Team, 2015). Sarnaselt lumikatte kestusele ei esinenud ka maksimaalses lumikatte paksuses 20. sajandi jooksul statistiliselt olulisi muutusi, kuid 20. sajandi teisel poolel esines Lõuna- ja Põhja-Rootsis väike lume paksuse suurenemise trend talviste sademetehulga suurenemise tõttu ning Kesk-Rootsis on maksimaalne lume paksus vähenenud kolmandiku võrra (Larsson, 2004, *cit* The BACC II Author Team, 2015).

Põhja-Soomes (Sodankyläs) on lume sulamine perioodil 1979–2007 nihkunud 3,4 päeva võrra kümnendis varasemaks (Takala *et al.*, 2009). Ehkki lumikatte periood on Soomes lühenenud, on lumikatte paksus suurenenud (Takala *et al.*, 2009). Kellomäki *et al.* (2010) leidsid, et Lõuna-Soomes ja rannikualadel kestab lumikatte keskmiselt 160–180 päeva, Kesk-Soomes 180–200 päeva ning Põhja-Soomes 200–220 päeva. Põhja-Soomes on piirkond, kus lumikatte kestus võib ulatuda 240 päevani. Põhja- ja Kirde-Soomes on jaanuari kuu keskmine lume paksus 60 sentimeetrit, Kesk-Soomes on lumi keskmiselt 40–50 sentimeetri paksune ning Soome lõunaosas 20–30 sentimeetri paksune. Kõige paksema lumikattega kuu Soomes on veebruar, millal keskmine lume paksus on ligikaudu 10 sentimeetrit paksem kui jaanuaris. (Kellomäki *et al.*, 2010)

Balti riikides ning Poolas on lumepäevade arv vähenenud (The BACC II Author Team, 2015). Lumikatte kestus on lühim Lääne-Poolas (keskmiselt alla 50 päeva) ning pikeneb ida-kirde suunaliselt ulatudes 80 päevani (Falarz, 2004). Lõuna- ja Edela-Poola mägistel aladel püsib lumikatte 3 kuust kuni 200 päevani (kõrgemates tippudes). Falarz (2004) leidis perioodi 1895–2003 andmete põhjal, et 20. sajandi teisel poolel esines Poola tasasematel aladel lumikatte lühenemise trend (ca 3 päeva kümnendis) ning Sudeedi mäestikus Edela-Poolas ning Tatrates esines lumikatte pikenemise trend. Vastupidiste trendide esinemine madalamatel aladel ja mäestikes on seotud soojemate talvede ning tsüklonaalsete ilmade osakaalu suurenemisega. Sellisel juhul esineb rohkem sademeid – madalamatel aladel sajab rohkem vihma, mistõttu lumikatet ei teki, kuid mägedes sajab rohkem lund ning selle tagajärjel lume paksus suureneb. Väiksem keskmine maksimaalne lumepaksus Lääne-Poolas on 15 sentimeetrit, lume paksus suureneb kirde suunas ulatudes keskmiselt 30 sentimeetrini. Tatrates ületab keskmine maksimaalne lumepaksus 1,5 meetrit (Falarz, 2004). 80-aastase perioodi jooksul Poolas märkimisväärsed trende lumikatte kestuses ei esine, kuid alates 20. sajandi lõpust on suuremas osas Poolas täheldatud selget lumeperioodi lühenemise trendi (Falarz, 2010, *cit* The BACC II Author Team, 2015). Sarnaselt lumikatte kestusele esineb peaaegu kogu Poolas maksimaalse lume paksuse vähenemise trend (Falarz, 2004). Lume paksust ning lumeperioodi pikkust Poola Sudeetides on uurinud Urban (2016). Urban leidis, et lumikatte kestus ulatub keskmiselt 40–45 päevast Poola Sudeetide madalamatel aladel kuni 193 päevani Sudeetide kõrgeimates tippudes. Kui Sudeetide madalamatel aladel täheldati perioodil (1951/52–2007/08) lumepäevade vähenemise trendi (*kuni* 4,26 päeva kümnendis), siis Sudeetide kõrgemates tippudes oli trend positiivne (2,59 päeva kümnendis). Keskmine maksimaalne lume paksus Sudeetide madalamates osades on 15–25 sentimeetrit ning kõrgemates mäetippudes 120–150 sentimeetrit. Poola Sudeetides on lumikatte vähenemise tendents, kuid statistiliselt olulist trendi ei esine. (Urban, 2016)

Leedus on lumikatte kestus viimase 50 aasta jooksul vähenenud keskmiselt 17 päeva, vaid Leedu idaosas on positiivne tendents, mis pole statistiliselt oluline (Gečaitė & Rimkus, 2010, *cit* The BACC II Author Team, 2015). Gečaitė ja Rimkus (2010) leidsid, et maksimaalne lumikatte paksus vähenes Leedus perioodil 1961–2010 keskmiselt 3,5 sentimeetrit. Rimkus *et al.* (2014) leidsid, et perioodi 1961–2010 andmetel on keskmine lumepäevade arv Edela-Leedus ning rannikualadel 63–67 päeva, kõige idapoolsematel aladel ulatub lumikatte kestus 100 päevani. Lume paksus on oodatult õhem rannikualadel ning kasvab ida suunas. Rimkus *et al.* (2014) leidsid, et negatiivne trend esineb nii lumepäevade arvu kui ka lume

paksuse puhul. Alates 1908. aastast on Vilniuses lume paksus vähenenud, 1980-ndatel vähenes lume paksus 17 sentimeetrit kümnendis (Bednorz & Kossowski, 2004).

Alates 20. sajandi keskpaigast (1945–2004) on lumikatte kestus Lätis vähenenud 3–27 päeva. Kuna Läti territooriumil esineb lumikatte kestuses suur ruumiline ja aastatevaheline varieeruvus, siis lumeperiood kestab Läti lääneosas keskmiselt 70 päeva ning Ida-Läti kõrgustikel 136 päeva. (Draveniece *et al.*, 2007)

1.2.3 Eesti

Letzmann (1921, *cit.* Tooming & Kadaja, 2006) ja Kirde (1939) tegid esimesi üldistusi lumikatte kohta Eestis. Kirde töös esitatud kuude keskmise lumepaksuse ning püsiva lumikatte algus- ja lõpukuupäeva kaardid perioodil 1923–36. Samuti on leitud keskmine ja maksimaalne lumikatte paksus ning keskmised lumikattega päevade arvud dekaadide kaupa eelpool mainitud perioodil. Soojuse ringvoolu lumikattes on põhjalikult uurinud Liidemaa (1946). Lumikatet ja lume albeedot on uurinud Tooming (1990, 1995, 1996, 2002, 2003; Tooming & Kadaja, 1995, 1999a, 2000). Lumikatte aastase kestuse ja paksuse territoriaalset jaotust on uurinud Jaagus (1997, 1999, 2003, 2006). Lisaks on uuritud lumikatte seoseid erinevate klimatoloogiliste näitajatega – merejää ulatus, õhutemperatuur (Jaagus, 1999; Tooming, 2003), atmosfääri tsirkulatsioon (Keevallik, 2003; Tomingas, 2003; Jaagus, 2006). Põhjalikumaks lumealaseks teoseks on Eesti lumikatte teatmik (Tooming & Kadaja, 2006).

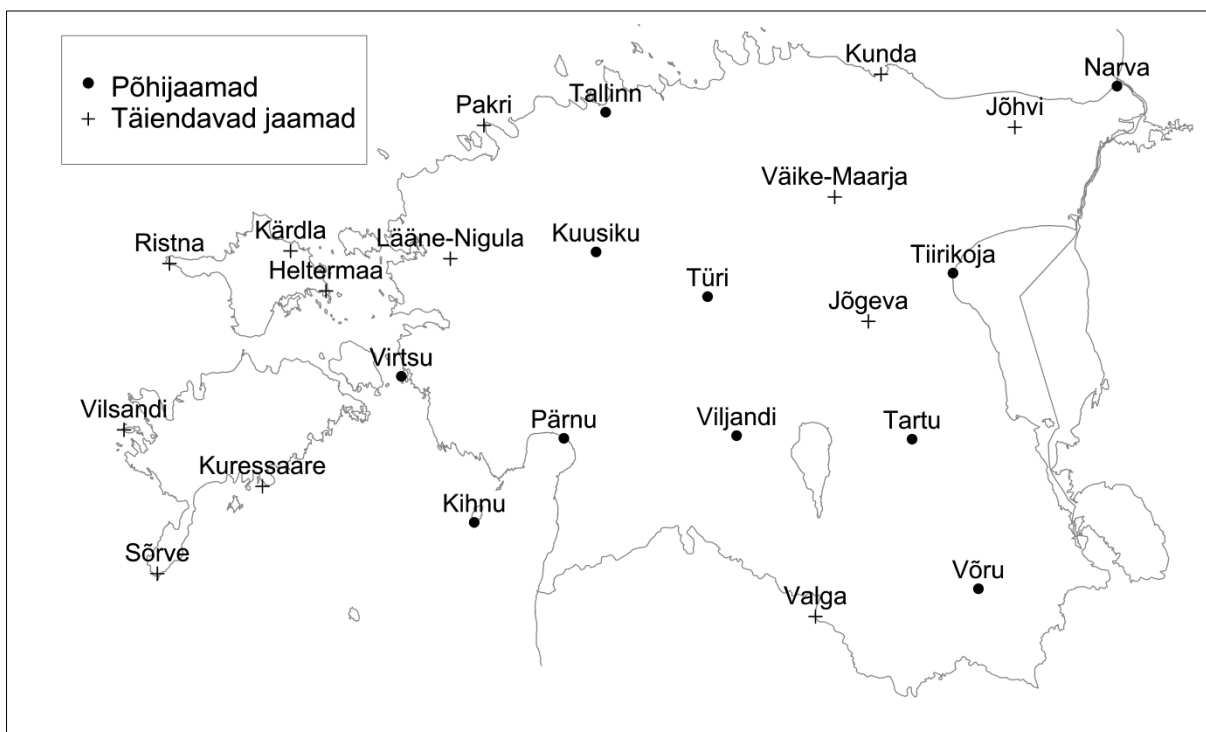
Lumikatte kestuse territoriaalne muutlikkus Eestis on suur. Territoriaalsed erinevused on suurimad pehmete talvede korral ning väiksemad külmadel talvedel (Jaagus, 1997) Kõige pikem on lumikattega periood Haanja, Otepää ja Pandivere kõrgustikel (125–130 päeva); sisemaal kestab lumikatte 100–120 päeva ning rannikualadel ja Lääne-Eesti saartel 80–100 päeva, olles kõige lühem Vilsandil (Jaagus 1997, 1999). Lumikatte kestuse aastatevaheline varieeruvus on väikseim veebruaris (standardhälve 5,5 päeva) ning suurim märtsis (9,1 päeva) Lumikatte kestus vähenes 20. sajandi jooksul Eestis keskmiselt 16 päeva (Jaagus, 1997). See ühtib Toominga ja Kadaja (1995) varasema uurimusega, milles nad leidsid, et lumikatte kestus on Tartus 20. sajandi teisel poolel lühenenud 17 päeva ning Lääne-Eesti saartel kuni kolme nädala võrra. Negatiivseid trende lumikatte kestuses on täheldanud ka Jaagus (2006), kes leidis, et ajavahemikus 1951–2000 lühenes lumeperiood sisemaal 17–20 päeva ning rannikul 21–36 päeva. Samas Narvas püsis lumikatte kestus praktiliselt muutumatuna – muutus -0,8 päeva kogu uurimisperioodi jooksul. Muutusi lumikatte paksuses perioodil 1962–1995 on uurinud Tooming ja Kadaja (1999b). Leiti, et lumikatte paksus omab negatiivset trendi kõigil kuudel

peale novembri. Nõrk positiivne trend novembris viitab lumikatte varasemale tekkele uurimisperioodi lõpuaastatel. Enim vähenes lumikatte paksus Pandivere kõrgustikul ja Kesk-Eestis, õhenedes veebruaris ja märtsis 17 sentimeetri võrra. Ülejäänud Eestis on lumikatte paksuse vähenemise trend veebruaris ja märtsis väiksem ning Saaremaal praktiliselt trendi ei esine. Aprillis võib nõrka negatiivset lumikatte paksuse trendi täheldada vaid kõrgustikel (Tooming & Kadaja, 1999b).

Üldiselt on põhjapoolkeral lumikatte kestus globaalse soojenemise tagajärjel lühenenud ning eelkõige lumikatte kevadise varasema sulamise arvelt. Tsüklonaalsete ilmade osakaalu suurenemine soodustab talviste sademete esinemist vihmana, mistõttu lumikate tekib hiljem või ei teki üldse. Seetõttu on keskmine ja maksimaalne lume paksus samuti vähenenud. Vastupidiste trendide esinemine mitmetes mäestike piirkondades on samuti seotud soojemate talvede ning tsüklonaalsete ilmade osakaalu suurenemisega, kuna mägedes sajab rohkem lund ning selle tagajärjel lume paksus suureneb.

2. Andmed ja metoodika

Käesolevas uurimuses kasutati Riigi Ilmateenistuse andmebaasist saadud ja arhiivist kogutud lumikatte statsionaarse mõõtmise ööpäevaseid andmeid 65-aastase perioodi (1950/51–2014/15) kohta Kihnu, Kuusiku, Narva, Pärnu, Tallinna, Tartu, Tiirikoja, Türi, Viljandi, Virtsu ja Võru vaatlusjaamadest. Täiendavalt kasutati Heltermaa, Jõgeva, Jõhvi, Kuressaare, Kunda, Kärkla, Lääne-Nigula, Pakri, Ristna, Sõrve, Valga, Vilsandi ja Väike-Maarja vaatlusandmeid (tabel 1), mille andmerekad olid uurimisperioodist lühemad. Kokku kasutati töös 24 vaatlusjaama andmeid (joonis 1). Ööpäevaste andmete põhjal arvutati lumikatet iseloomustavad statistilised näitajad.



Joonis 1. Töös kasutatud Riigi Ilmateenistuse vaatlusjaamade asukohad.

Tallinna puhul on kuni 1979/80 talveni kasutatud Tallinn-Ülemiste andmeid ning alates 1980/81 talvest Tallinn-Harku andmeid. Tartu puhul kasutati 1963. aastani Tartu-Ülenurme jaama andmeid ning alates 1964. aastast Tartu-Tõravere vaatlusandmeid. Narva vaatlusjaam töötas 1. novembrist 2000. aastal kuni 19. detsembrini 2013. aastal Narva-Jõesuus. Alates 19. detsembrist kolis jaam Narva-Jõesuust Narva Olgino lennujaama juurde.

Andmetes esines lünki, mis kas täideti naaberjaamade andmete abil (lühemate lünkade puhul) või jäeti sisse tühikud (tabel 1). Täidetud lüngad on välja toodud tabelis 2. Alates 2010/2011

talvest mõõdetakse lumikatte paksust igapäevaselt vaid kuues kliimajaamas – Tallinn-Harku, Pärnu-Sauga, Tartu-Tõravere, Vilsandi, Võru, Väike-Maarja. Ülejäänud jaamades tehakse lumemõõtmisi harvemini, mistõttu täideti andmelüngad lähedalasuvate kliimajaamade abil.

Tabelites ja joonistel on lühiduse mõttes kasutatud ühte aastanumbrit, mis tähistab talvehooaega, mis algab eelneva aasta oktoobris ning lõppeb järgneva aasta kevadel lume lõpliku sulamisega. Seega tähistab nt 1951 talve 1950/51.

Tabel 1. Vaatlusjaamade asukohad ja olemasolevad vaatlusperioodid; m ümp: meetrit üle merepinna.

Jaam	Laius (°N)	Pikkus (°E)	Kõrgus (m ümp)	Vaatlusperiood (a)	Puuduvad andmed (a)
Heltermaa	58°52'01"	23°02'49"	4	1959–2009	-
Jõgeva	58°44'59"	26°24'54"	70	1952–2015	-
Jõhvi	59°19'44"	27°23'54"	73	1959–2015	-
Kihnu	58°05'55"	23°58'13"	3	1951–2015	-
Kuressaare	58°13'53"	22°30'18"	3	1951–2000	1998
Kunda	59°31'17"	26°32'29"	3	1951–2013	XII 1958–II 1959 I–V 1972
Kuusiku	58°58'23"	24°44'02"	53	1951–2015	-
Kärdla	58°59'38"	22°49'19"	2	1964–2000	-
Lääne-Nigula	58°57'04"	23°48'56"	24	1965–2015	-
Narva*	59°23'22"	28°06'33"	28	1951–2015	-
Pakri	59°23'22"	24°02'24"	23	1951–2003	-
Pärnu	58°25'11"	24°28'11"	12	1951–2015	I–V 1967
Ristna	58°55'15"	22°03'59"	7	1951–2014	-
Sõrve	57°54'49"	22°03'29"	3	1951–2014	-
Tallinn*	59°23'53"	24°36'10"	33	1951–2015	-
Tartu*	58°15'51"	26°27'41"	70	1951–2015	-
Tiirikoja	58°51'55"	26°57'08"	32	1951–2015	-
Türi	58°48'31"	25°24'33"	60	1951–2015	-
Valga	57°47'24"	26°02'16"	65	1956–2015	-
Viljandi	58°22'40"	25°36'01"	86	1951–2015	-
Vilsandi	58°22'58"	21°48'51"	6	1952–2015	-
Virtsu	58°34'22"	23°30'49"	2	1951–2015	XII 1984–V 1985
Võru	57°50'47"	27°01'10"	82	1951–2015	
Väike-Maarja	59°08'29"	26°13'51"	121	1963–2015	-
*jaama asukohta on muudetud					

Tabel 2. Jaamad, kus olevad lüngad täideti naaberjaama andmete abil.

Jaam	Laius (°N)	Pikkus (°E)	Vaatlusperiood (a)	Täidetud lüngad
Jõgeva	58°44'59''	26°24'54''	1952–2015	21. III – 31. III 1952; II 1964; II 1976
Kuressaare	58°13'53''	22°30'18''	1951–2000	II–III 1967
Kunda	59°31'17''	26°32'29''	1951–2013	III 1970

Lumikatte mõõtmisi tehakse hommikul kell 8:00 talveaja järgi. Alalistel vaatlusväljakutel mõõdetakse lund kolme võrdkülgse kolmnurga kujuliselt paigaldatud 120 sentimeetri pikkuse lumelati (mille vahekaugus pole alla 10 meetri) keskmisena täissentimeetrites (Tooming & Kadaja, 2006).

Antud töös loeti lumepäevaks päeva, mil lume paksus oli vähemalt üks sentimeeter. Seetõttu arvestati alla 1 cm paksuse lumikattega päevade puhul lume paksusena null sentimeetrit isegi siis, kui maapind oli täielikult lumega kaetud.

Leiti püsiva lumikatte tekke- ja lõpukuupäev ning kestus; aasta, kuude ja dekaadide keskmine ja maksimaalne lume paksus. Eelmainitud näitajate puhul analüüsiti nende aegridasid ning viidi läbi territoriaalne analüüs. Kuna lumikatte andmestik on selgelt mittenormaalse jaotusega, siis kasutati lumikatte näitajate kirjeldamiseks aritmeetilise keskmise asemel mediaani ja varieeruvuse näitajana standardhälbe asemel kvartiilihaaret. Aegridade analüüsi käigus leiti iga-aastaste väärtuste alusel keskmised, mediaanid ja kvartiilihaarded ning koostati nende näitajate kaardid. Statistikud leiti nende kuupäevade kohta, millal vähemalt 50% talvedest esines lumikate. Dekaaadi arvutuste puhul järgiti samuti 50% põhimõtet.

Püsiva lumikattega perioodi leidmisel lähtuti põhimõttest, see ei kesta vähem kui kuu aega (30 päeva), millest lumeta päevi võib olla kuni kolm. Ühele lumeta päevale pidi eelnema viis lumepäeva ning 2–3 lumeta päevale vähemalt 10 lumepäeva. Kui ühe talve jooksul esines kaks püsiva lumikattega perioodi, mille vahel oli kuni 5 lumeta päeva, siis püsiv lumikate ei katkenud. Kui kahe püsiva lumikattega perioodi vahel oli üle viie lumeta päeva, siis leiti püsiva lumikatte pikkus kahe perioodi summeerimisel ning püsiva lumikatte alguseks loeti esimese perioodi alguskuupäev ning lõpuks teise perioodi lõpukuupäev. Juhul, kui vähemalt 30-päevast püsivat lumikate talve jooksul ei esinenud, arvestati kestusena pikima järjestikuse lumikattega

perioodi. Kui esines kaks sama pikka perioodi, siis loeti püsiva lumikattena paksema lumikattega perioodi.

Trendianalüüsiks kasutati Mann-Kendalli mitteparameetrilist testi. Mann-Kendalli test võimaldab analüüsida aegridu, mis ei ole normaaljaotusega. Mann-Kendalli test töötab järgneval põhimõttel: leitakse aegrea kõigi järjestikuste väärtuste paarikaupa arvutatavate vahede märk ning iga aegrea elementi võrreldakse kõigi talle eelnevate elementidega (Jaagus, 2003). Ühe aegrea monotoonse trendi Mann-Kendalli statistik leitakse valemiga (1) (Salmi *et al.*, 2002; Jaagus, 2003)

$$S = \sum_{j=1}^{n-1} \sum_{i=j+1}^n \text{sgn}(x_i - x_j), \quad (1)$$

kus x_i ja x_j on aegreas üksteisele järgnevad liikmed aastatel i ja j ning $i > j$;

$$\text{sgn}(x_i - x_j) = \begin{cases} 1, & \text{kui } x_i - x_j > 0 \\ 0, & \text{kui } x_i - x_j = 0 \\ -1, & \text{kui } x_i - x_j < 0 \end{cases} \quad (2)$$

Aegreas esineb positiivne trend, kui S on positiivne ja vastupidi. Trendi puudumise korral on teststatistiku väärtus null. Trendi tõusukordaja ehk keskmine muutus ühe aasta kohta leiti Sen'i meetodil. Mann-Kendalli trendianalüüs tehti MS Exceli lisandmooduliga XLSTAT 2016. Trendi usaldusväärsust kontrolliti $p < 0,05$ tasemel. Trend on sellel tasemel usaldusväärne, kui Mann-Kendalli statistiku S absoluutväärtus on 1,96 või üle selle.

Kaartide vormistamiseks kasutati tarkvara *Surfer 7,0*. Interpoleerimine toimus krigingu meetodil (punktkriging).

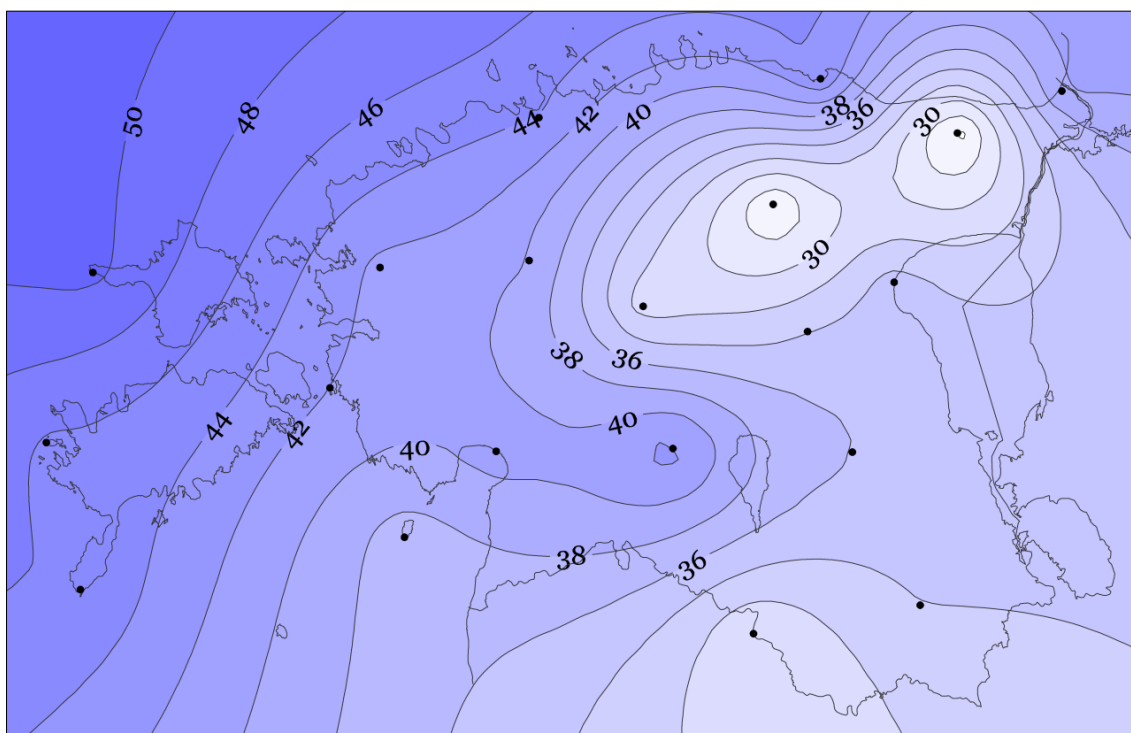
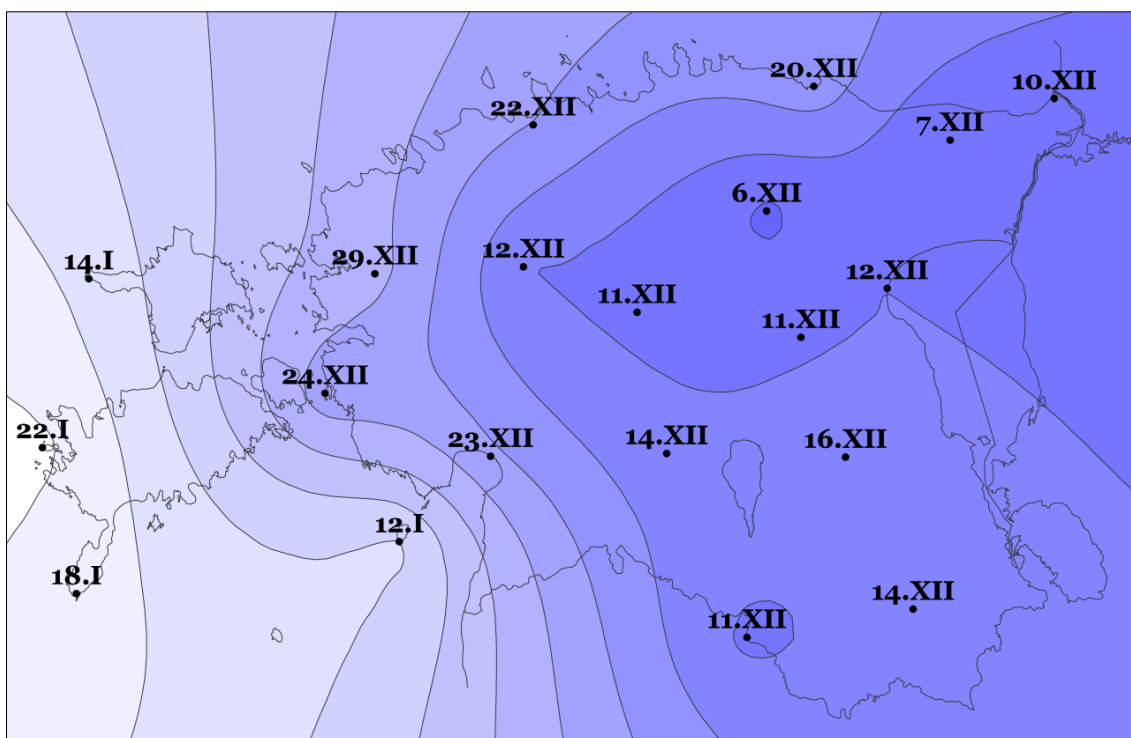
3. Tulemused ja arutelu

3.1 Pikaajalised muutused püsivas lumikattes

3.1.1 Püsiva lumikatte algus

Püsiva lumikatte algus- ja lõpukuupäevad ning kestus varieeruvad Eesti territooriumil suuresti. Püsiva lumikatte alguse üldine levikusuund on idast läände (joonis 2). Püsiv lumikate moodustub varem Pandivere kõrgustikul ja Kirde-Eestis ning Kagu-Eesti kõrgustikel (Haanja, Otepää). Mere soojendava mõju tõttu tekib Lääne-Eesti saarte läänerannikul püsiv lumikate hiljem. Ajaline varieeruvus püsiva lumikatte alguskuupäevas on suur. Kui Pandivere kõrgustikul moodustub püsiv lumikate keskmiselt 6. detsembril (Väike-Maarja), siis Lääne-Eesti saartel ligikaudu kuu hiljem. Vilsandil moodustub püsiv lumikate Väike-Maarjaga võrreldes koguni 1,5 kuu võrra hiljem, keskmiselt 23. jaanuaril. Kõige varem on püsiv lumikate tekkinud 30. oktoobril 1989. aastal Jõhvis ning kõige hiljem 23. märtsil 2008. aastal Ristnas, millal lumikate oli järjestikku maas alla 30 päeva (tabel 3). Lääne-Eestis on esinenud ka talvi, millal püsivat lumikatet (vähemalt 30 päeva) pole moodustunud. Püsiva lumikatte keskmine alguskuupäev Eestis perioodil 1951–2015 oli 24. detsember. Varasemalt on leitud, et perioodil 1946–1998 algas talv (ehk moodustus püsiv lumikate) kõige varem Väike-Maarjas keskmiselt 2. detsembril ning kõige hiljem Vilsandil ja Sõrves keskmiselt 11. jaanuaril (Jaagus, 2001). Eelmainitud uuringu kohaselt oli Eesti keskmine püsiva lumikate mediaan alguskuupäev 19. detsember.

Püsiva lumikatte alguse aastatevaheline varieeruvus on väikseim Pandivere kõrgustikul ning Kirde-Eestis (joonis 3; tabel 3) ning suurim Lääne-Eesti saartel. Seega moodustub Pandivere kõrgustikul lumikate erinevatel aastatel võrdlemisi samal ajal, kuid saartel võib pehmete talvede korral püsiv lumikate üldse mitte tekkida. Suurim aastatevaheline muutlikkus perioodil 1951–2015 esineb Heltermaal, väikseim Jõhvis ja Väike-Maarjas (tabel 3). Varasemalt on leitud, et perioodil 1946–1998 oli talve alguse (püsiva lumikatte moodustumise) aastatevaheline varieeruvus väikseim Narvas (standardhälve 20,7 päeva) ning suurim Tallinnas ja Pakril (vastavalt 27,9 ja 28,3 päeva).



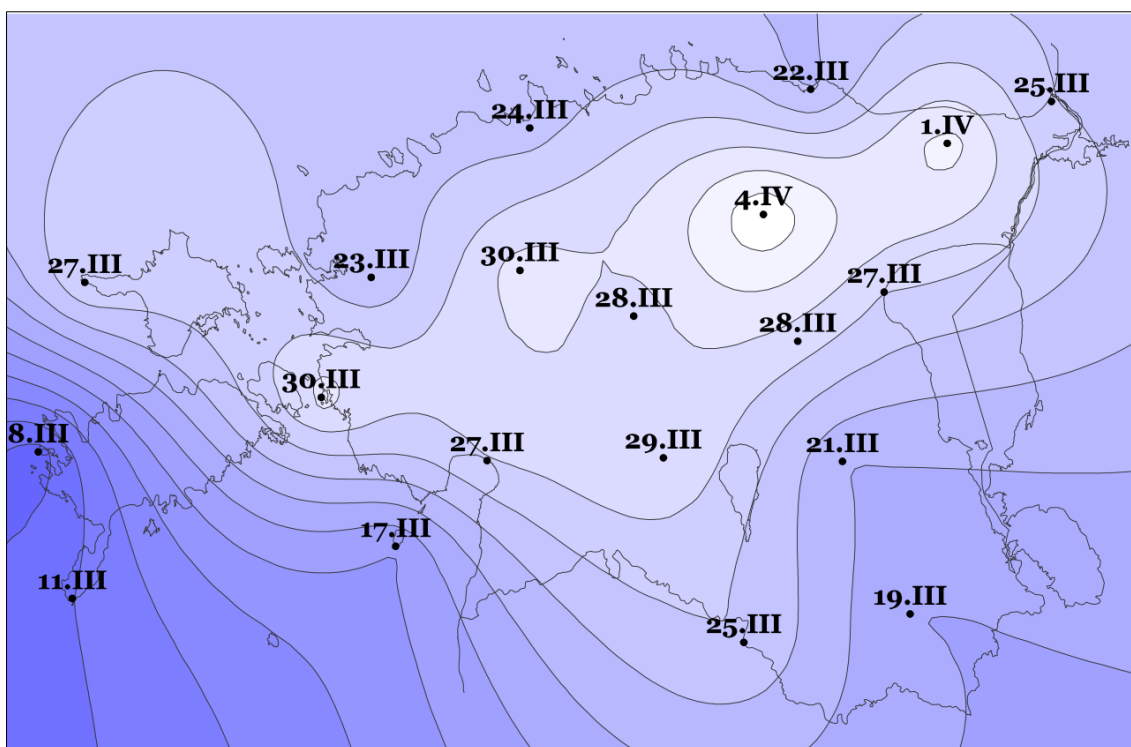
Tabel 3. Püsiva lumikatte alguse statistilised näitajad (perioodil 1951–2015).

Jaam	Varaseim	Hiliseim	Mediaan	Kvartiili- haare
Heltermaa*	14. nov 1996	19. märts 2008	03. jaan	50
Jõgeva*	02. nov 1957	14. veebr 1993	12. dets	34
Jõhvi*	30. okt 1989	29. veebr 2008	07. dets	25
Kihnu	24. nov 1953, 2011	21. märts 1961	14. jaan	40
Kuressaare*	10. nov 1989	23. veebr 1971	01. jaan	40
Kunda*	06. nov 1957	16. märts 2008	21. dets	43
Kuusiku	03. nov 1953	16. veebr 1993	13. dets	35
Kärdla*	12. nov 1966	02. märts 1998	27. dets	48
Lääne-Nigula*	11. nov 1966	22. veebr 1973	29. dets	41
Narva	03. nov 1957	19. märts 2008	11. dets	40
Pakri*	12. nov 1966	22. veebr 1973	25. dets	45
Pärnu	16. nov 1974	22. veebr 1988	25. dets	41
Ristna*	12. nov 1966	23. märts 2008	16. jaan	47
Sõrve*	25. nov 2011	22. märts 2008	19. jaan	43
Tallinn	12. nov 1966	21. veebr 2001	21. dets	40
Tartu	10. nov 1999	22. veebr 1973	19. dets	38
Tiirikoja	30. okt 1989	14. veebr 1993	14. dets	32
Türi	06. nov 1957, 1999	16. veebr 1993	13. dets	32
Valga*	01. nov 1980, 2012	17. veebr 1993	10. dets	33
Viljandi	12. nov 1974	18. veebr 2001	16. dets	40
Vilsandi*	24. nov 2011	10. märts 1983	23. jaan	47
Virtsu	12. nov 1966	19. märts 2008	25. dets	37
Võru	03. nov 1957	13. veebr 1993	17. dets	35
Väike-Maarja*	05. nov 2002	16. märts 2008	06. dets	26
Varaseim/vähim	30.okt	13. veebr	06. dets	25
Hiliseim/suurim	25.nov	23. märts	23. jaan	50
Eesti keskmine	09.nov	01. märts	24. dets	39
*jaama aegrida on lühem kui uurimisperiood				

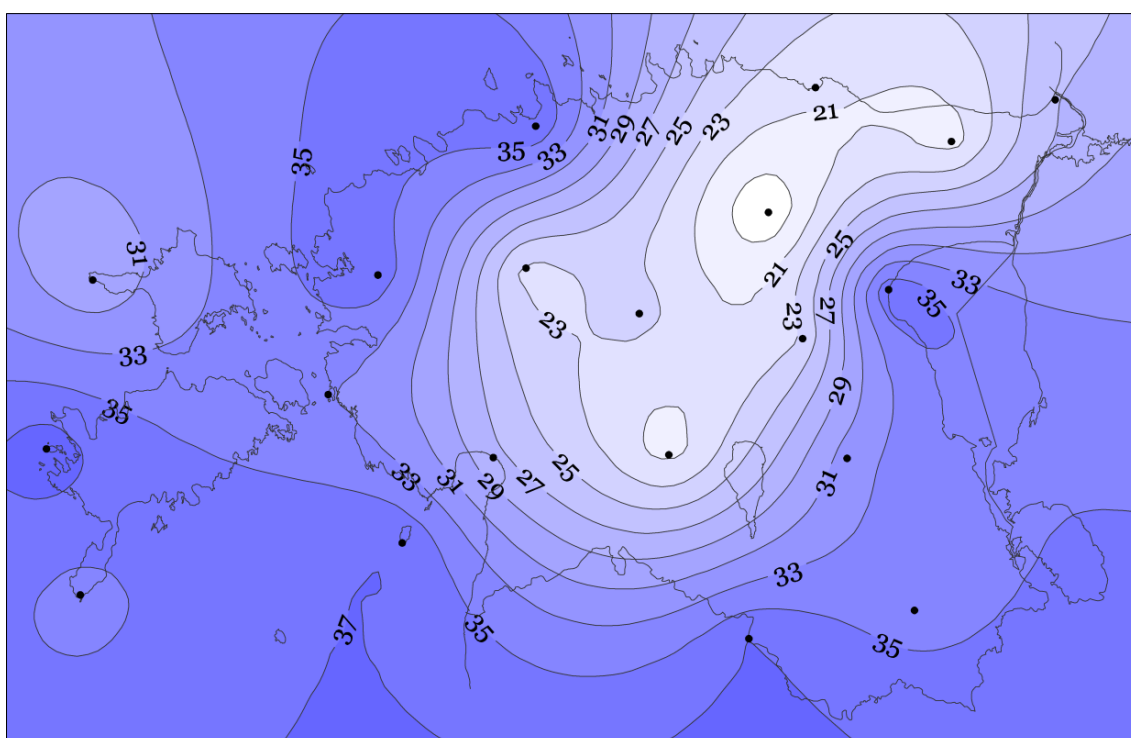
3.1.2 Püsiva lumikatte lõpp

Sarnaselt püsiva lumikatte algusele on ka püsiva lumikatte lõpukuupäevades suured territoriaalsed erinevused (joonis 4). Kui Vilsandil kaob lumikate keskmiselt juba 8. märtsil, siis Pandivere kõrgustikul püsib lumikate ligi kuu võrra kauem, kadudes Väike-Maarjas keskmiselt 4. aprillil (tabel 4). Samuti püsib lumikate kaua Haanja ja Otepää kõrgustikul, kuid kuna seal pole ilmajaamu, mille andmeid oleks saanud antud töös kasutada, siis ei tule see tulemustes selgelt esile. Kõige varem on talve pikim järjestikuse lumikattega periood lõppenud 19. novembril 2008. aastal Jõgeval ja Valgas ning kõige hiljem on püsiv lumikate kadunud 1. mail 1956. aastal Tiirikojal. Keskmiselt lõppeb püsiva lumikattega periood Eestis 25. märtsil (tabel 4). Varasemalt on leitud, et varakevad algab (lumikate kaob lõplikult) keskmiselt kõige varem Vilsandil ja Sõrves märtsi lõpus (vastavalt 27. ja 28. märtsil) ning kõige kauem kestab lumikate Pandivere kõrgustikul Väike-Maarjas (keskmiselt 10. aprillini) (Jaagus, 2001). Eelmainitud uurimuse andmetel oli Eesti keskmine lumikatte mediaan lõpukuupäev 5. aprill. Sellest jäeldub, et lumikatte lõpp on varasemaga võrreldes nihkunud varasemaks ning enim Lääne-Eesti saartel.

Püsiva lumikatte lõpu kvartiilihaarde puhul päris selget ruumilist mustrit ei esine (joonis 5). Kuigi üldjuhul on aastatevaheline varieeruvus väikseim sisemaal (eriti Pandivere kõrgustikul) ning suurim rannikualadel, siis võrdlemisi suur varieeruvus lumikatte lõpus aastati on Lääne-Eestis asuvas Lääne-Nigulas (tabel 4). Aastatevaheline varieeruvus püsiva lumikatte lõpukuupäevas on mõnevõrra väiksem kui püsiva lumikatte alguse puhul. Varasemalt on samuti leitud, et püsiva lumikatte lõpu aastatevaheline varieeruvus on väikseim sisemaal (Türis on standardhälve 10,8 päeva) ning suurim Lääne-Eestis Vilsandil, Kuressaares ja Sõrves (vastavalt 19,1 ja 19,3 ning 20,1 päeva) (Jaagus, 2001).



Joonis 4. Püsiva lumikatte lõpukuupäeva mediaan perioodil 1963–2015.



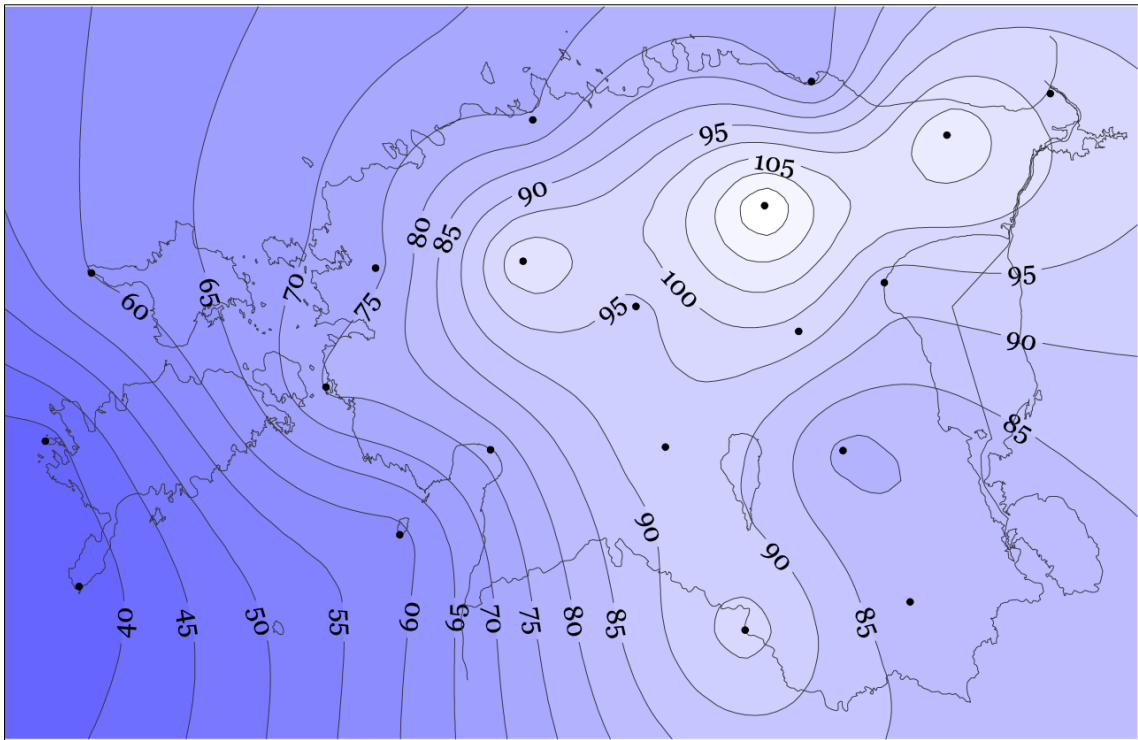
Joonis 5. Püsiva lumikatte lõpukuupäeva kvartiilihaare perioodil 1963–2015.

Tabel 4. Püsiva lumikatte lõpukuupäeva statistilised näitajad (perioodil 1951–2015).

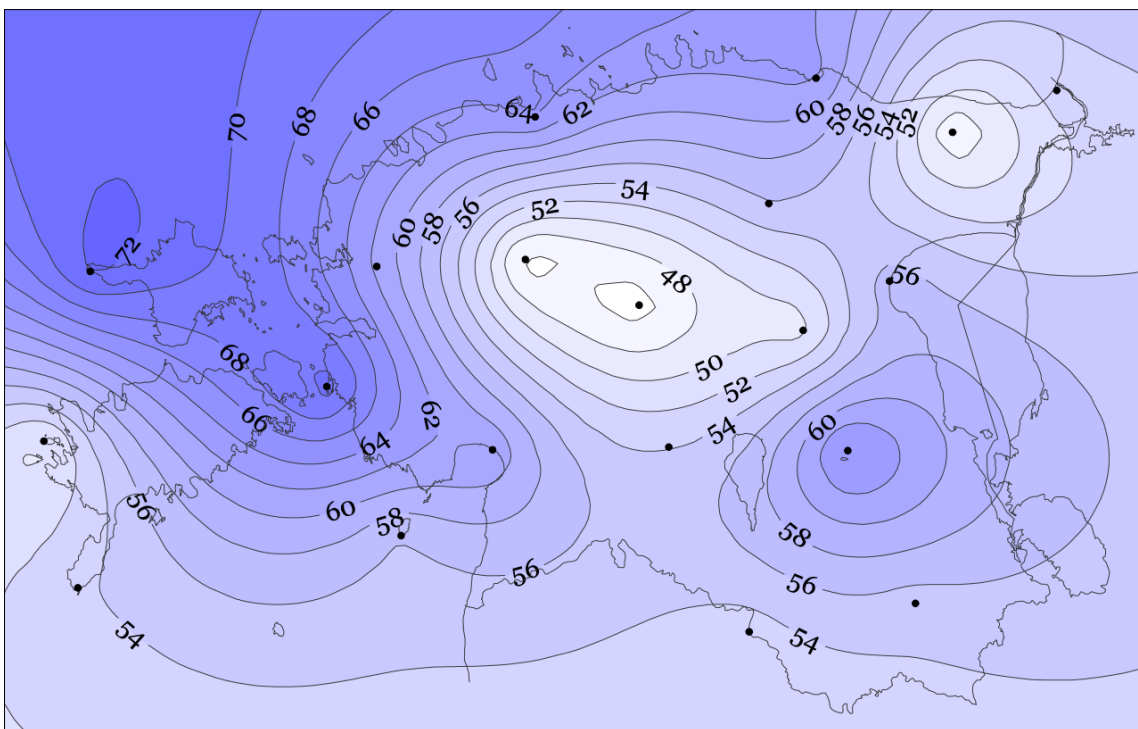
Jaam	Varaseim	Hiliseim	Mediaan	Kvartiilihaare
Heltermaa*	19. dets 1990	16. apr 1996	20. märts	34
Jõgeva*	19. nov 2008	28. apr 1956	30. märts	25
Jõhvi*	23. dets 1975	17. apr 2011, 2013	01. apr	20
Kihnu	21. dets 1990	20. apr 1956	21. märts	37
Kuressaare*	23. nov 1961	20. apr 1956	27. märts	30
Kunda*	18. dets 1990	19. apr 1956	24. märts	22
Kuusiku	04. dets 2008	29. apr 1956	01. apr	22
Kärdla*	19. dets 1990	17. apr 1996	20. märts	21
Lääne-Nigula*	21. dets 1990	18. apr 1996	23. märts	37
Narva	05. dets 1993	26. apr 1955	29. märts	25
Pakri*	25. nov 1961	28. apr 1956	14. märts	36
Pärnu	24. dets 1990	21. apr 1956	28. märts	27
Ristna*	24. nov 1961	23. apr 1966	30. märts	28
Sõrve*	10. dets 1974	22. apr 1956	12. märts	35
Tallinn	18. dets 1990	14. apr 2013	25. märts	33
Tartu	19. dets 1990	28. apr 1956	26. märts	27
Tiirikoja	28. dets 1990	01. mai 1956	27. märts	31
Türi	20. dets 1990	28. apr 1955	01. apr	26
Valga*	19. nov 2008	24. apr 1956	27. märts	37
Viljandi	22. dets 1975	27. apr 1956	31. märts	21
Vilsandi*	08. dets 1989	11. apr 1963	08. märts	40
Virtsu	22. dets 1990	22. apr 1956	31. märts	33
Võru	15. dets 1957	15. apr 1955	22. märts	35
Väike-Maarja*	22. dets 1975	01. mai 1966	04. apr	17
Varasem/vähim	19. nov	11. apr	8. märts	17
Hiliseim/suurim	28. dets	1. mai	4. aprill	40
Eesti keskmine	12. dets	22. aprill	25. märts	29
*jaama aegrida on lühem kui uurimisperiood				

3.1.3 Püsiva lumikatte kestus

Territoriaalsed erinevused lumikatte kestuses on oodatult suured. Pikim on püsiv lumikate töös kasutatud andmete põhjal Pandivere kõrgustikul ning lühim Lääne-Eesti saartel (joonis 6). Lumi püsib kaua maas ka Haanja ja Otepää kõrgustikul, kui kahjuks pole seal ilmajaamu, mille andmeid kasutada. Kõige kauem on lumi püsivalt maas Väike-Maarjas (keskmiselt 121 päeva) ning lühimalt Vilsandil ja Sõrvel (keskmiselt 39 päeva). Eestis keskmiselt kestab püsiv lumikate 83 päeva ehk ligi 3 kuud (tabel 5). Esinenud on aastaid, mil Lääne-Eesti saartel püsivat lumikatet (vähemalt 30 päeva) ei moodustunud. Vilsandil oli 1975. aastal lumikate maas vaid kahel järjestikusel päeval, Kihnus kattis pikim järjestikune lumikate maad vaid kahel päeval 2015. aastal. Pikimalt on püsiv lumikate esinenud Väike-Maarjas 1965/66. aasta talvel kestes 172 päeva (tabel 5). Aastatevaheline varieeruvus püsiva lumikatte kestuses on suur (joonis 7, tabel 5). Püsiva lumikatte kestus ei ole varasemate töödega otseselt võrreldav, sest esinevad metodoloogilised erinevused, kuid territoriaalsed mustrid püsiva lumikatte kestuses on siiski sarnased (Jaagus, 1997; Tooming & Kadaja, 2006).



Joonis 6. Püsiva lumikatte kestuse mediaan perioodil 1963–2015.



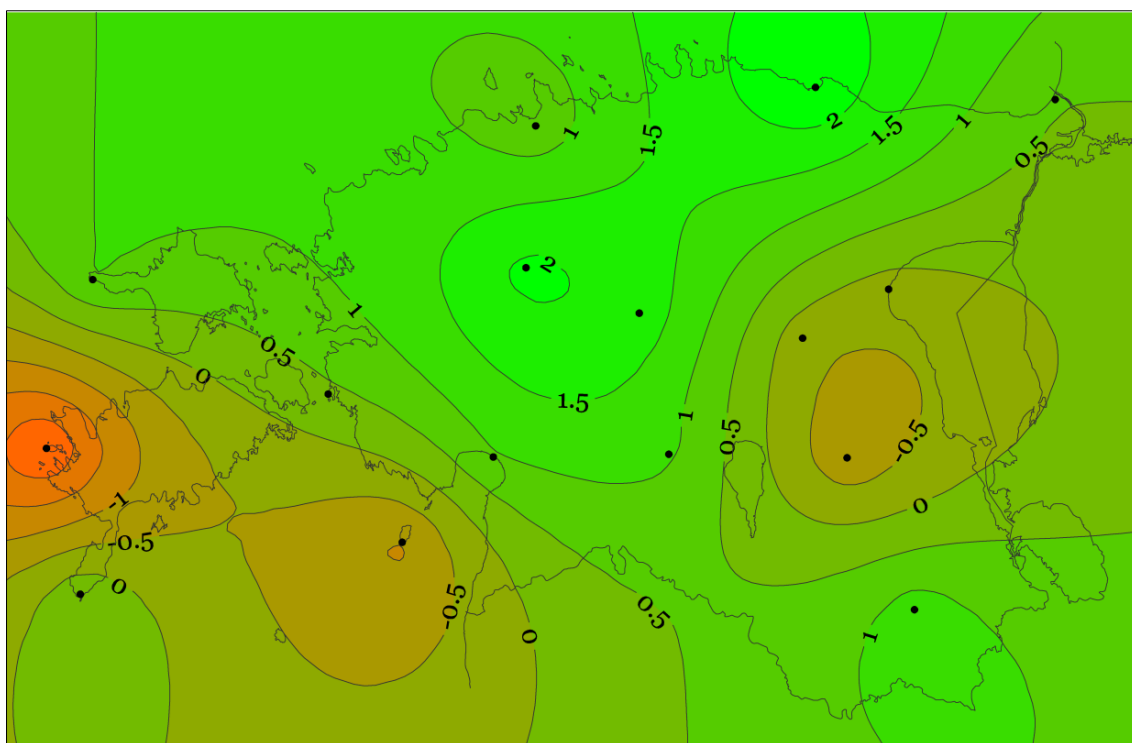
Joonis 7. Püsiva lumikatte kestuse kvartiilihaare perioodil 1963–2015.

Tabel 5. Püsiva lumikatte kestuse statistilised näitajad (perioodil 1951–2015).

Jaam	Lühim (aasta)	Pikim (aasta)	Mediaan	Kvartiili- haare
Heltermaa*	7 (1961)	140 (1966)	62	60
Jõgeva*	16 (2008)	148 (1956)	99	48
Jõhvi*	29 (1992)	154 (2003)	111	46
Kihnu	2 (2015)	137 (2011)	61	63
Kuressaare*	5 (1961)	150 (1966)	81	65
Kunda*	11 (1992)	148 (1956)	82	61
Kuusiku	9 (2008)	161 (1966)	107	45
Kärdla*	8 (1992)	145 (1966)	78	69
Lääne-Nigula*	11 (2008)	147 (1996)	73	62
Narva	14 (2008)	152 (2003)	103	51
Pakri*	6 (1961)	147 (1956)	69	67
Pärnu	11 (2008)	139 (1956)	80	60
Ristna*	6 (1961)	163 (1966)	67	66
Sõrve*	4 (1961)	126 (2011)	39	54
Tallinn	10 (2008)	145 (1966)	86	64
Tartu	10 (1992)	147 (1956)	80	65
Tiirikoja	11 (2008)	164 (1966)	96	53
Türi	12 (2008)	161 (1966)	99	46
Valga*	16 (2008)	142 (1956)	99	52
Viljandi	11 (2008)	145 (1956)	95	57
Vilsandi*	2 (1975)	120 (2011)	39	35
Virtsu*	4 (1961)	160 (1966)	78	62
Võru	11 (2008)	140 (1966)	82	52
Väike-Maarja*	17 (2008)	172 (1966)	121	56
Lühim/väikseim	2	120	39	35
Pikim/suurim	29	172	121	69
Eesti keskmine	10	148	83	57
*jaama aegrida on lühem kui uurimisperiood				

3.1.4 Püsiva lumikatte trendid

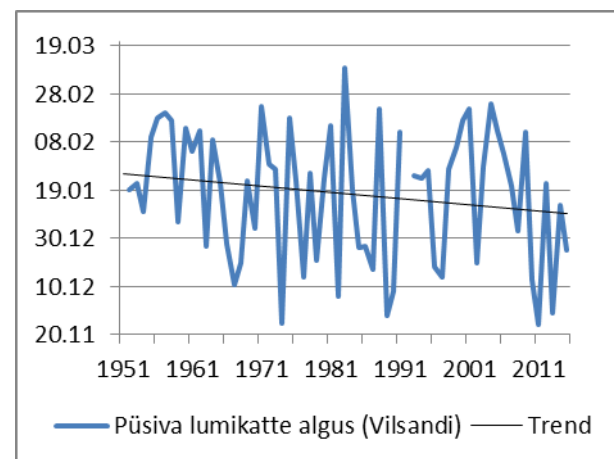
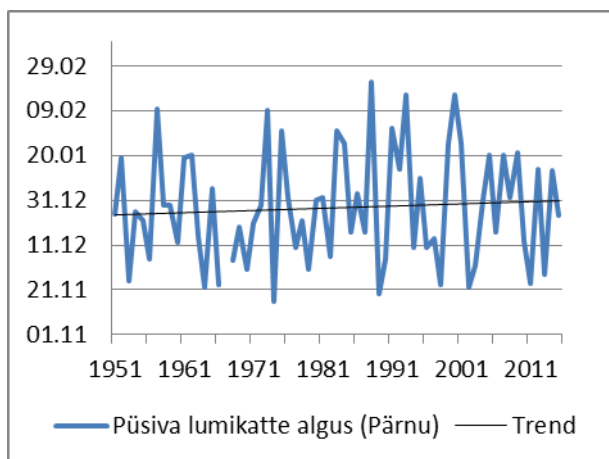
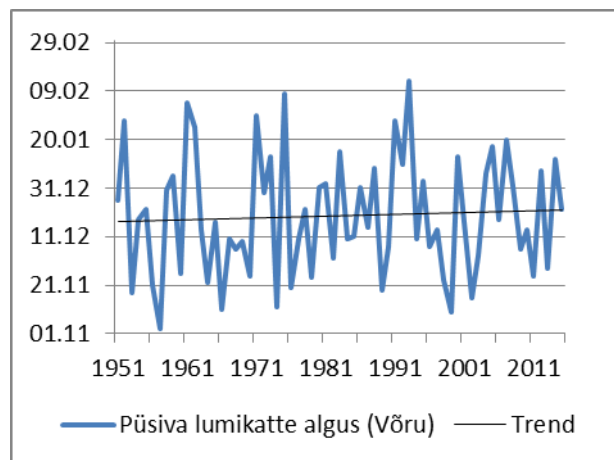
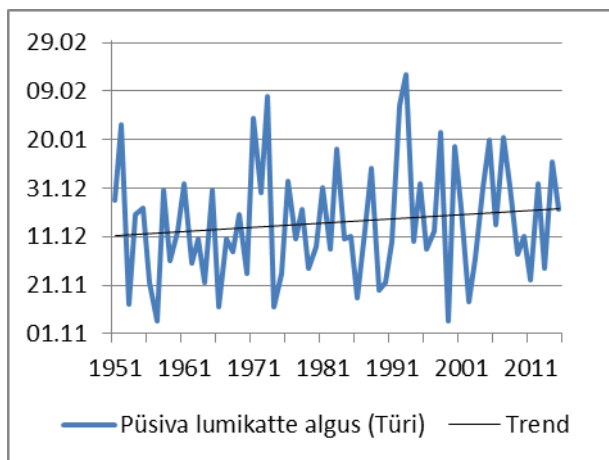
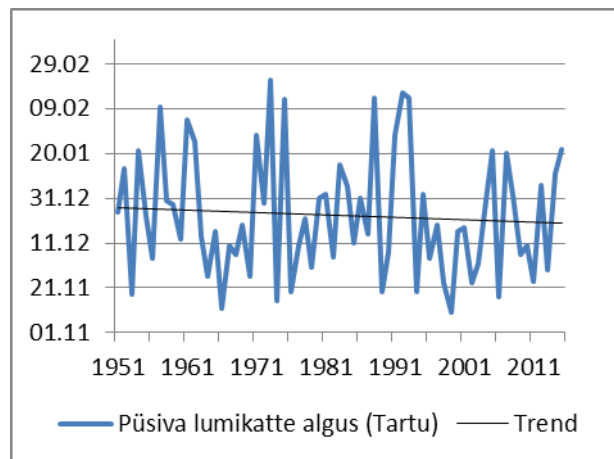
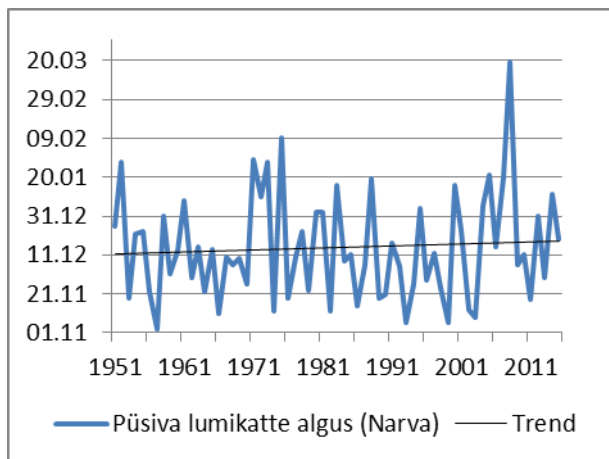
Püsiva lumikatte alguskuupäevas perioodil 1951–2015 statistiliselt usaldusväärseid trende ei esinenud (tabel 6). Üldiselt on tendents püsiva lumikatte hilisemale tekkele (olles suurim Türil ja Kundas), kuid mõningates jaamades (Jõgeva, Kihnu, Tartu, Tiirikoja, Valga, Vilsandi) esines nõrk püsiva lumikatte varasema moodustumise tendents (olles suurim Valgas ja Vilsandil) (joonis 8; joonis 9; tabel 6).



Joonis 8. Püsiva lumikatte alguse trend 10 aasta kohta perioodil 1951–2015.

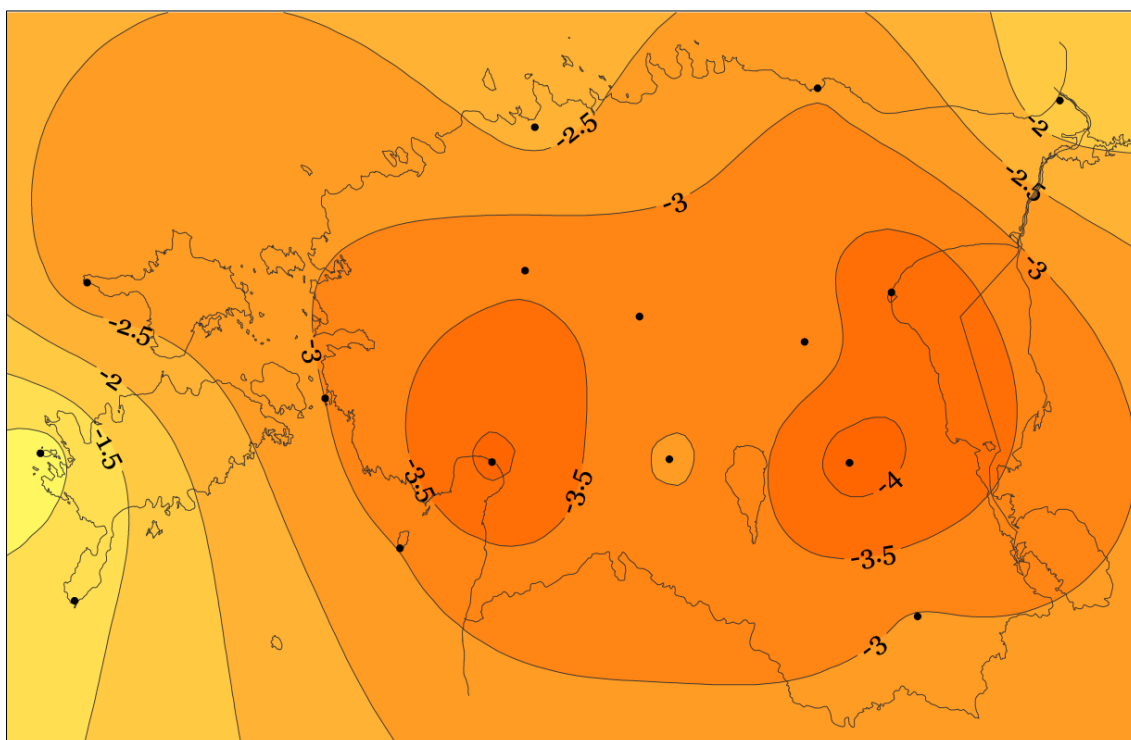
Tabel 6. Püsiva lumikatte algus- ja lõpukuupäeva ning kestuse muutused päevades 10 aasta kohta perioodil 1951–2015 (Statistiliselt usaldusväärsed muutused ***Bold*** iga).

Jaam	Algus	Lõpp	Kestus
Jõgeva*	-0,31	-3,00	-3,79
Kihnu	-1,09	-3,00	-3,71
Kunda*	2,50	-2,98	-7,10
Kuusiku	2,14	-3,42	-6,44
Narva	0,53	-1,67	-3,85
Pärnu	0,98	-4,18	-7,04
Ristna*	1,00	-2,81	-4,67
Sõrve*	0,41	-1,33	-2,90
Tallinn	0,66	-2,31	-4,87
Tartu	-0,88	-4,31	-5,00
Tiirikoja	-0,21	-4,06	-4,42
Türi	1,82	-3,33	-4,87
Valga*	-2,38	-3,75	-5,21
Viljandi	1,09	-2,86	-6,00
Vilsandi*	-2,57	-0,74	-0,48
Virtsu*	0,41	-3,00	-5,68
Võru	1,25	-2,94	-4,38
*Jaama vaatlusrida oli lühem kui uurimisperiood			

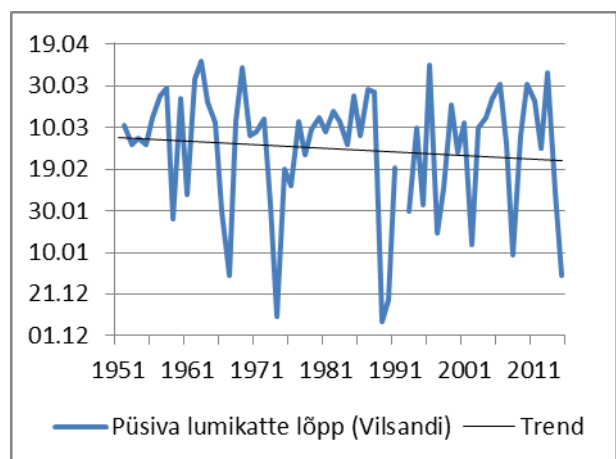
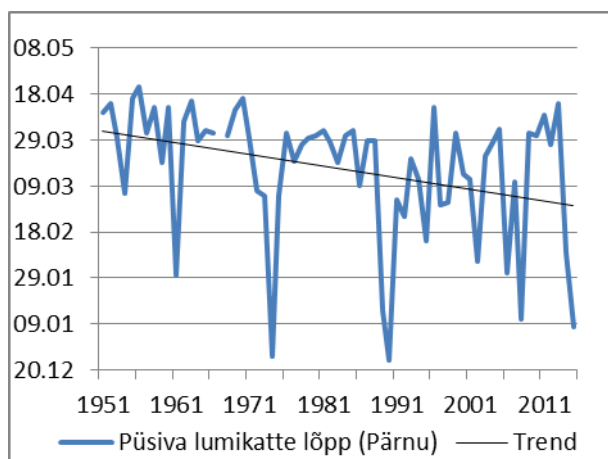
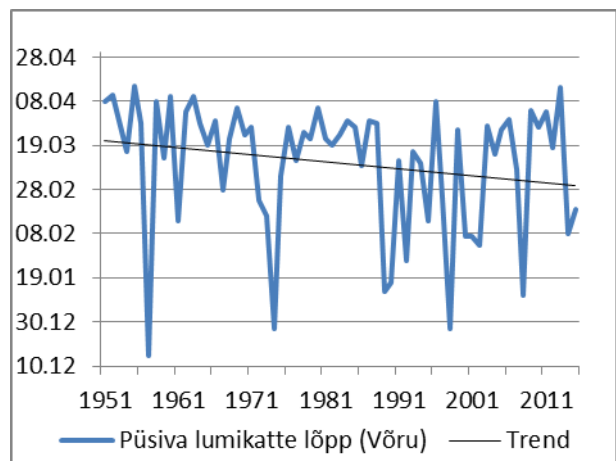
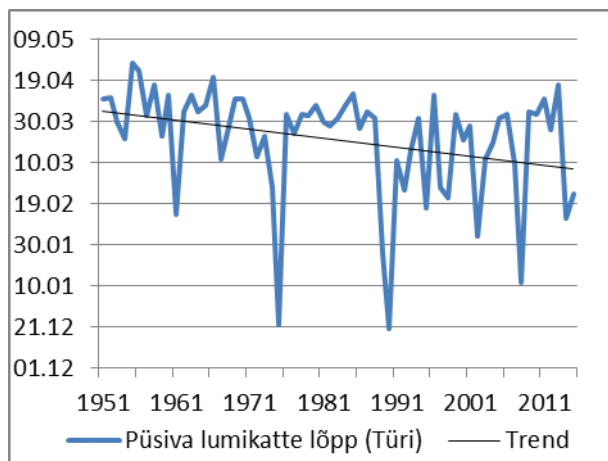
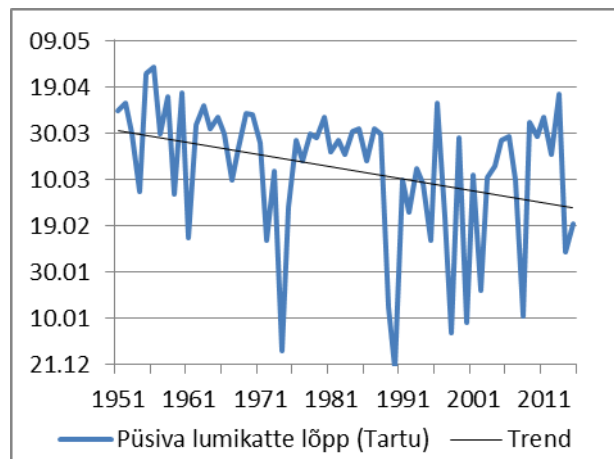
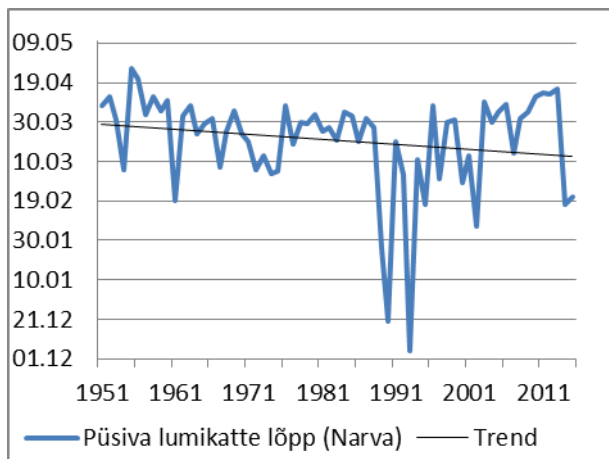


Joonis 9. Püsiva lumikatte alguskuupäevad Narvas, Tartus, Türil, Võrus, Pärnus ja Vilsandil perioodil 1951–2015 ning selle trend.

Püsiva lumikatte lõpp on enim varasemaks nihkunud Mandri-Eestis. Muutused on väiksemad rannikualadel ja Lääne-Eesti saartel (joonis 10). Püsiva lumikatte lõpukuupäev esines perioodil 1951–2015 statistiliselt usaldusväärne negatiivne trend suuremas osas jaamadest. Erandiks olid Kirde-Eestis asuv Narva ning Lääne-Eestis olevad Vilsandi ja Sõrve, kus esines siiski nõrk negatiivne tendents (joonis 10; joonis 11; tabel 6). Suurim statistiliselt usaldusväärne trend esines Tartus, kus püsiva lumikatte lõpp on kümnendi kohta nihkunud ligikaudu nelja päeva võrra varasemaks ehk neli nädalat kogu uurimisperioodi jooksul (joonis 11; tabel 6). Püsiva lumikatte lõpp on oluliselt varasemaks nihkunud ka Pärnus (joonis 11; tabel 6) ja Tiirikojal (tabel 6), vastavalt -4,18 ja -4,06 päeva kümnendis ehk ligi neli nädalat kogu uurimisperioodi jooksul. Väiksem statistiliselt usaldusväärne muutus on aset leidnud Tallinnas, kus püsiva lumikatte lagunemine on kogu uurimisperioodi jooksul kahe nädala võrra varasemaks nihkunud (tabel 6). Püsiva lumikatte lõpu varasemaks nihkumine on seletatav läänevoolu ehk tsonaalse tsirkulatsiooni tugevnemisega veebruaris ja märtsis (Jaagus, 2003). Läänevooluga kantakse Atlandi ookeani kohalt sooja õhku kaugele Euraasiasse, mille tagajärjel on talved oluliselt pehmemad.

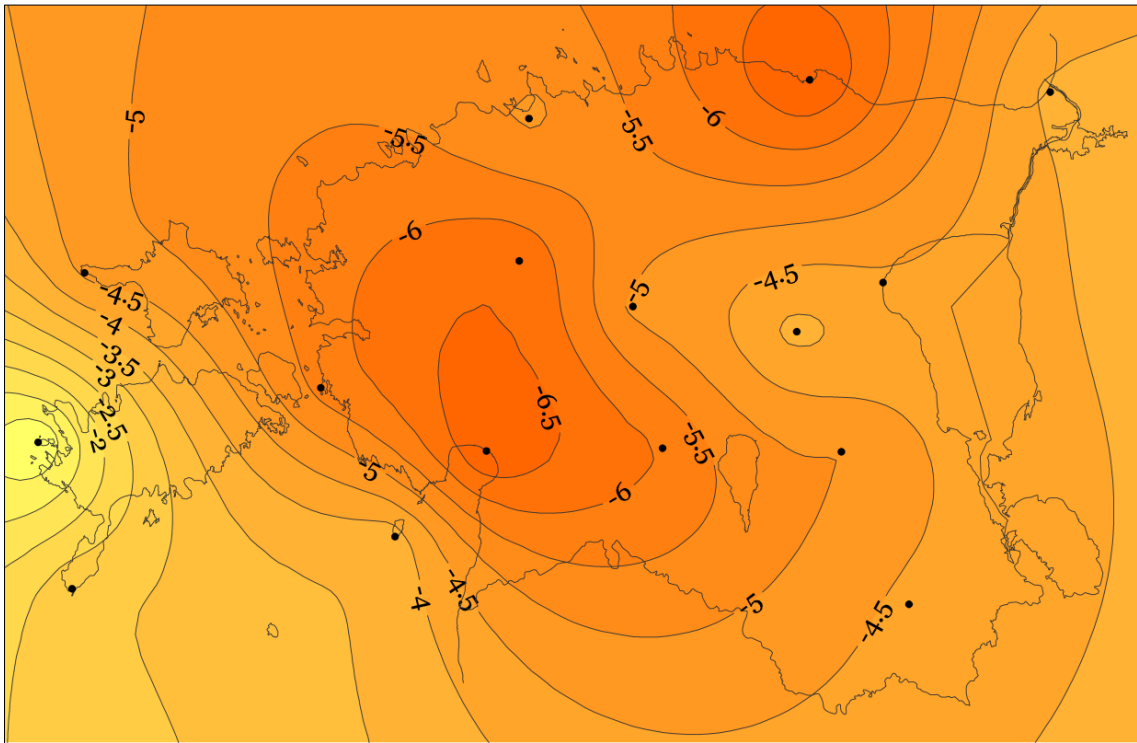


Joonis 10. Püsiva lumikatte lõpukuupäeva trend 10 aasta kohta perioodil 1951–2015.

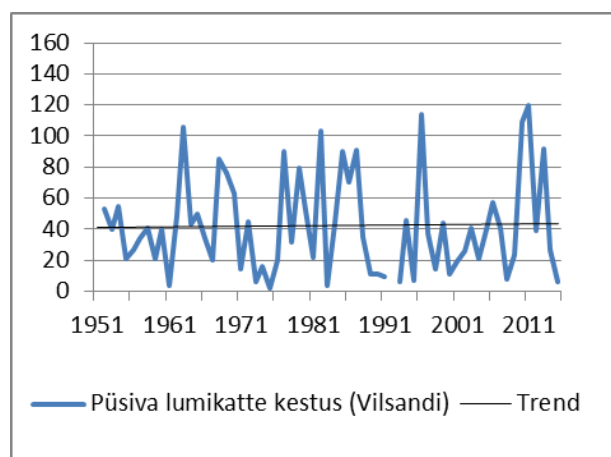
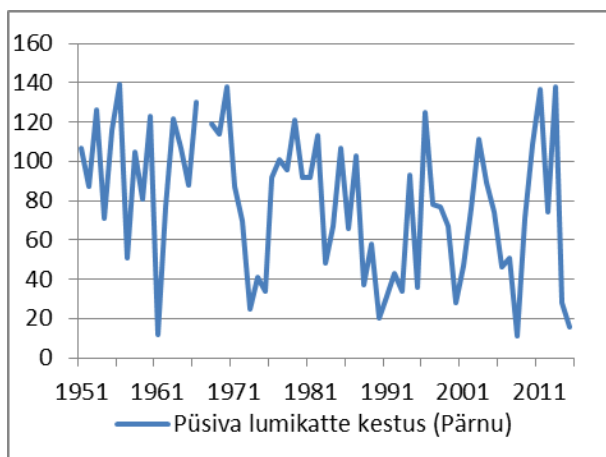
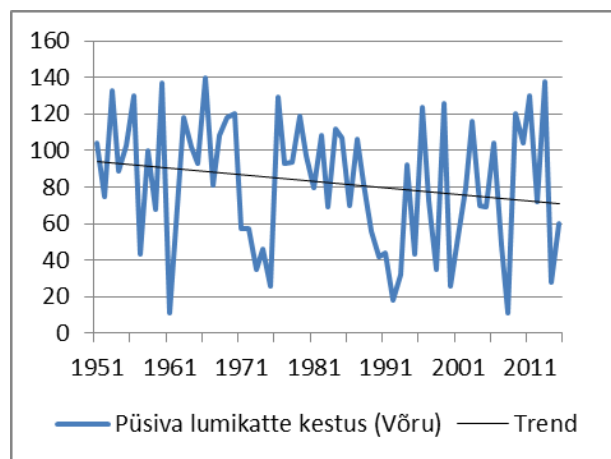
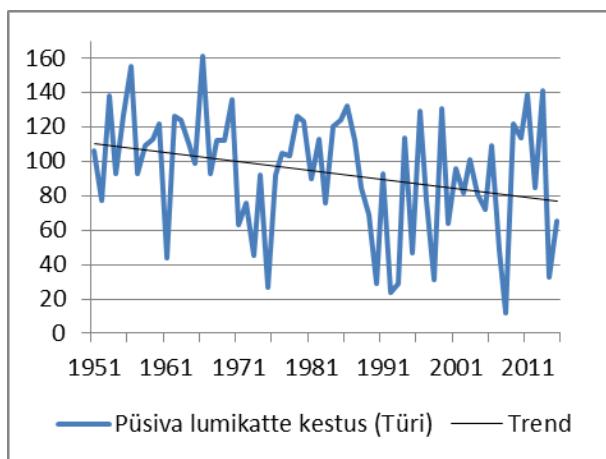
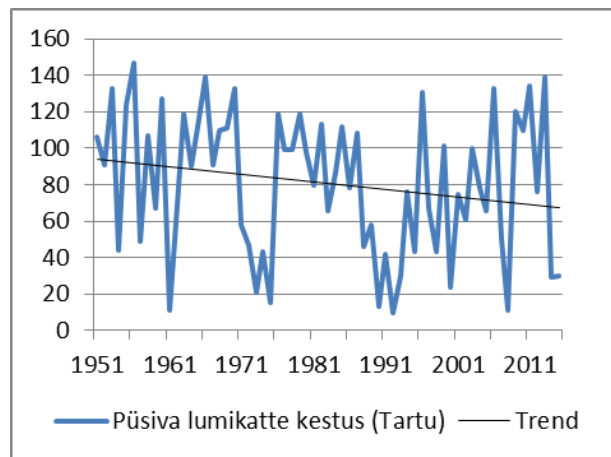
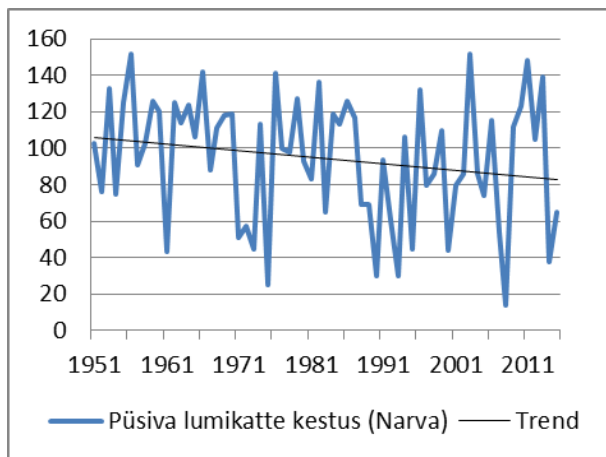


Joonis 11. Püsiva lumikatte lõpukuupäevad Narvas, Tartus, Türil, Võrus, Pärnus ja Vilsandil perioodil 1951–2015 ning selle trend (Tartus, Türil, Võrus ja Pärnus on trend statistiliselt usaldusväärne).

Püsiva lumikatte kestuses esineb perioodil 1951–2015 negatiivne trend kõigis jaamades (joonis 12; joonis 13) olles statistiliselt usaldusväärne viies jaamas (Kunda, Kuusiku, Pärnu, Viljandi, Virtsu) (tabel 6). Suurim lühenemise trend esineb Kundas ja Pärnus, kus kogu uurimisperioodi jooksul on püsiva lumikatte kestus vähenenud ligikaudu 1,5 kuu võrra (vastavalt -7,10 ja -7,04 päeva kümnendis) (tabel 6). Väikseim statistiliselt usaldusväärne muutus on toimunud Virtsus, kus kogu uurimisperioodi jooksul on püsiva lumikatte kestus lühenenud ligikaudu viie nädala võrra ehk -5,68 päeva kümnendis (tabel 6). Eesti keskmisena on püsiva lumikatte kestus lühenenud ühe kuu võrra. Püsiva lumikatte kestuse lühenemine on suuresti tingitud üldisest temperatuuri tõusust ning läänevoolu tugevnemisest talvel, eriti veebruaris ja märtsis. Püsiva lumikatte kestus ongi peamiselt lühenenud selle varasema sulamise tõttu kevadel. Varasemalt on muutusi lumikatte kestuses täheldanud Jaagus (2006), kelle andmetel lühenes perioodil 1951–2000 lumikatte kestus sisemaal 17–20 päeva ning rannikualadel 21–36 päeva.



Joonis 12. Püsiva lumikatte kestuse trend 10 aasta kohta perioodil 1951–2015.

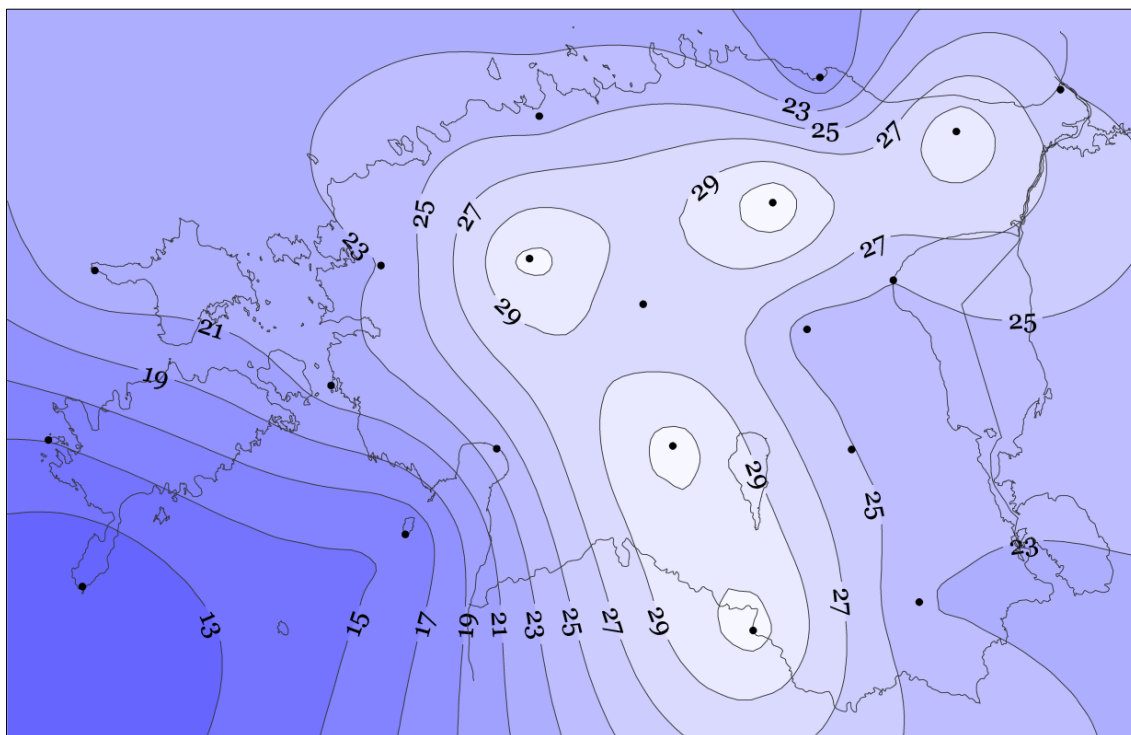


Joonis 13. Püsiva lumikatte kestus Narvas, Tartus, Türil, Võrus, Pärnus ja Vilsandil perioodil 1951–2015 ning selle trend (Pärnus on trend statistiliselt usaldusväärne).

3.2 Aasta maksimaalne lume paksus ja selle pikaajalised muutused

3.2.1 Aasta maksimaalse lume paksuse territoriaalne jaotus

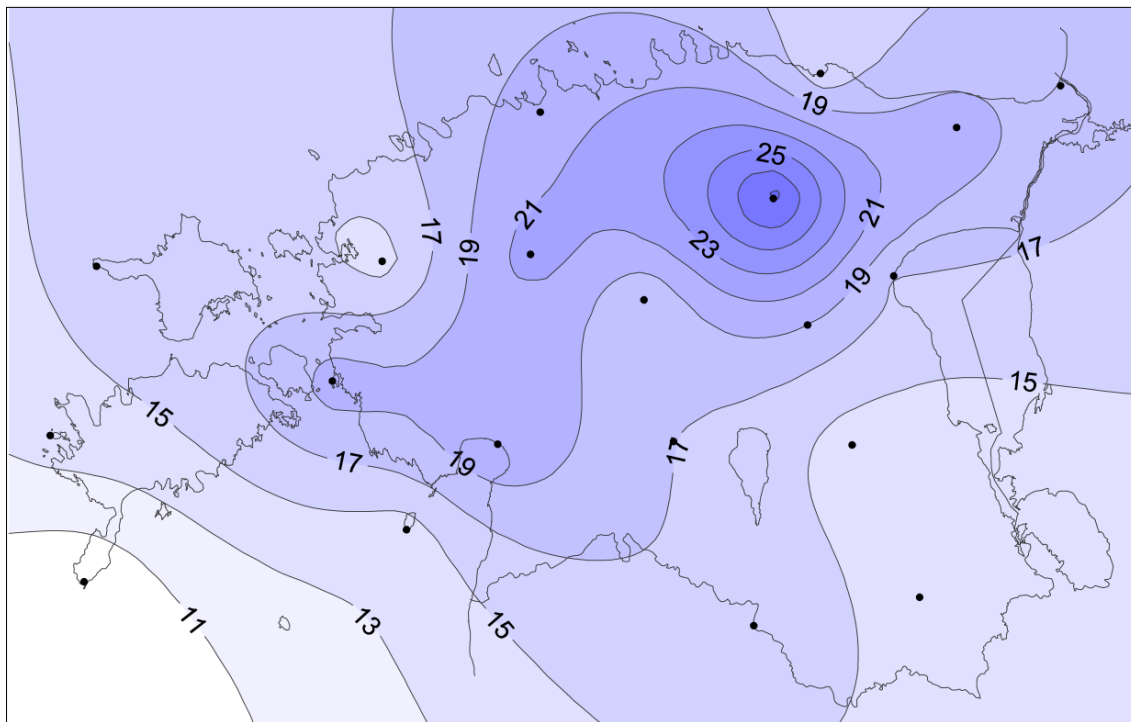
Perioodil 1951–2015 kasutatud jaamade andmete põhjal on aasta maksimaalne lumikate kõige paksem Kuusikul (33 cm) ning kõige väiksem maksimaalne lume paksus on Sõrves (12 cm) (tabel 7). Rohkemate jaamade andmeid kasutades leiti, et perioodi 1963–2015 andmetel on aasta maksimaalne lume paksus kõige suurem Väike-Maarjas (33 cm) (joonis 14; tabel 7). Võrdlemisi paks maksimaalne lumikate moodustub ka Kuusikul, Valgas, Viljandis ja Jõhvis (keskmiselt 32 cm (Jõhvis 31 cm)) (joonis 14, tabel 7). Kõige väiksem on aasta maksimaalne lume paksus Lääne-Eesti saartel, ulatudes Sõrves keskmiselt 11 sentimeetrini (joonis 14). Üldiselt moodustub kõige paksem lumikate Pandivere kõrgustikul Kirde-Eestis ning Lõuna-Eesti kõrgustikel (Haanja, Otepää) (joonis 14). Kuna Haanja ja Otepää kõrgustikul ei ole ilmajaamu, mille andmeid oleks saanud antud töös kasutada, siis ei tule tulemustest selgelt välja, et eelmainitud kõrgustikel esineb kõige paksem lumikate.



Joonis 14. Aasta maksimaalse lumepaksuse mediaan perioodil 1963–2015.

Maksimaalse lume paksuse aastatevaheline muutlikkus on suurim Väike-Maarjas ning väiksem Sõrvel (joonis 15). Üldiselt on kvartiilihaare suurem Sise-Eestis ning väiksem rannikualadel ning Lääne-Eesti saartel. Suur kvartiilihaare Väike-Maarjas on seletatav sellega,

et külmaladel ja pikkadel talvedel on soodustatud paksu lumikatte teke, kuid pehmematel ja soojematel talvedel on lumikate tunduvalt õhem. Samas Sõrves on lumikate mere kliimat pehmendava mõju tõttu nii soojematel kui ka külmematel talvedel võrdlemisi ühepaksune.



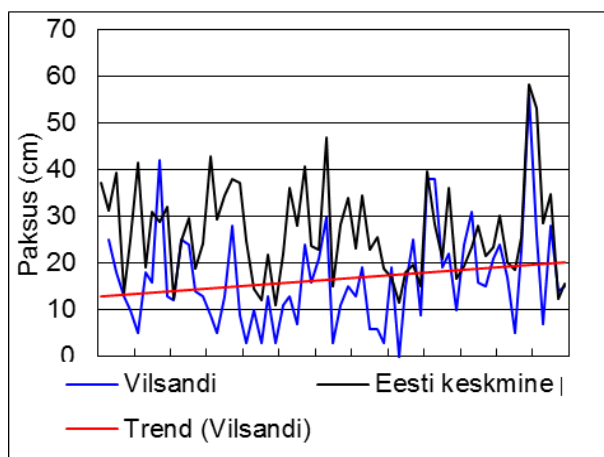
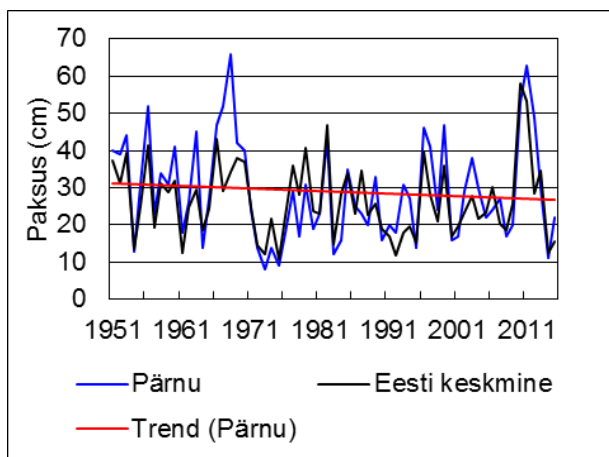
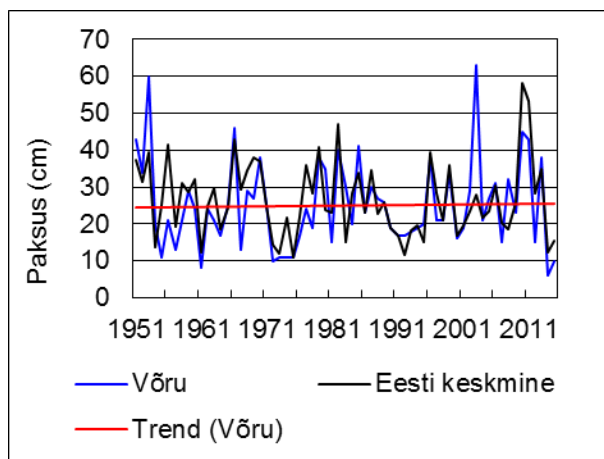
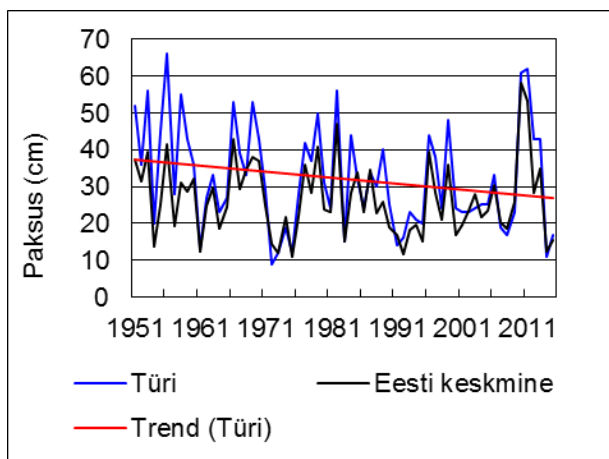
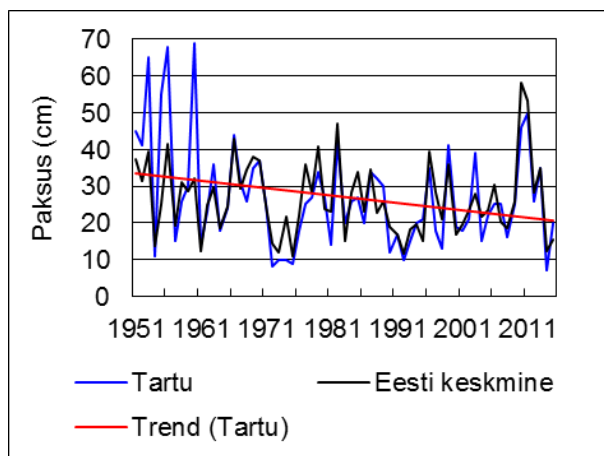
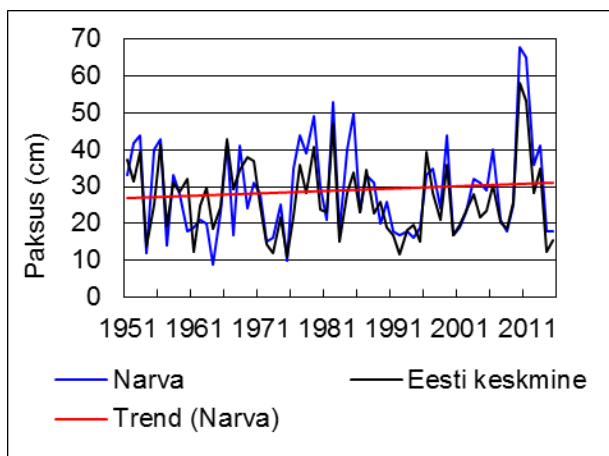
Joonis 15. Aasta maksimaalse lumepaksuse kvartiilihaare perioodil 1963–2015.

3.2.2 Pikaajalised muutused aasta maksimaalses lume paksuses

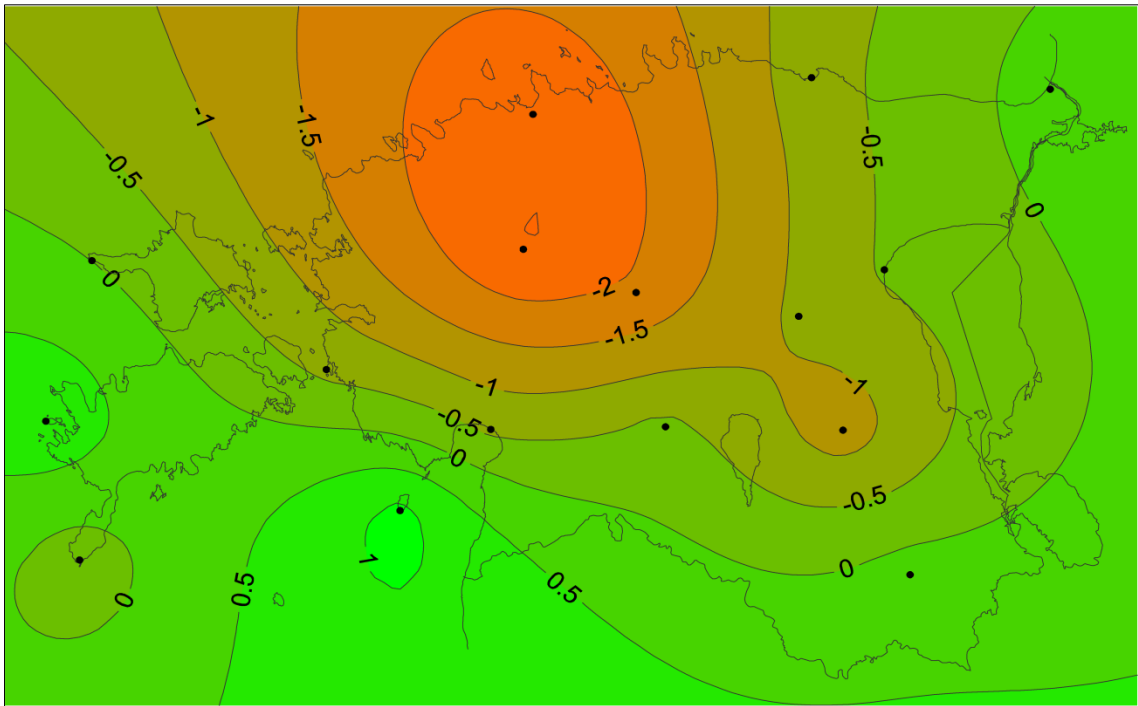
Perioodil 1951–2015 esines nii maksimaalse lume paksuse suurenemise kui ka vähenemise trende (tabel 7). Statistiliselt usaldusväärselt suurenes aasta maksimaalne lume paksus Kihnus 1,15 sentimeetrit kümnendis ehk ligikaudu 7 sentimeetrit kogu uurimisperioodi jooksul (tabel 7). Aasta maksimaalne lume paksus vähenes statistiliselt usaldusväärselt Kuusikul, Tallinnas ja Türil (vastavalt -2,53; -2,46 ja -1,90 sentimeetrit kümnendis ehk ligikaudu 16, 15 ja 12 sentimeetrit kogu uurimisperioodi jooksul). Jõgeval, Kundas, Pärnus, Sõrves, Tartus, Tiirikojal, Viljandis ja Virtsus esineb aasta maksimaalse lume paksuse negatiivne tendents; Narvas, Vilsandil ja Võrus positiivne tendents ning Ristnas ei esine mingisugust trendi (joonis 16; joonis 17; tabel 7). Üldjoontes on Põhja- ja Kesk-Eestis aasta maksimaalne lume paksus vähenenud ning Kagu-Eestis ja Edela-Eesti saartel suurenenud (joonis 17).

Tabel 7. Aasta maksimaalne lume paksus perioodidel 1951–2015 ja 1963–2015 ning selle trend perioodil 1951–2015 (Statistiliselt usaldusväärsed muutused Bold` iga).

Jaam	1951–2015		1963–2015
	Maksimaalne paksus (cm)	Trend	Maksimaalne paksus (cm)
Jõgeva	27	-0,92	24
Jõhvi	-	-	31
Kihnu	14	1,15	15
Kunda	19	-0,71	19
Kuusiku	33	-2,53	32
Lääne-Nigula	-	-	23
Narva	26	0,19	25
Pärnu	27	-0,60	24
Ristna	22	0,00	23
Sõrve	12	-0,29	11
Tallinn	26	-2,46	24
Tartu	25	-1,28	25
Tiirikoja	26	-0,44	25
Türi	29	-1,90	27
Valga	-	-	32
Viljandi	32	-0,36	32
Vilsandi	15	0,91	15
Virtsu	22	-0,62	22
Võru	23	0,23	23
Väike-Maarja	-	-	33



Joonis 16. Aasta maksimaalne lume paksus Narvas, Tartus, Türil, Võrus, Pärnus ja Vilsandil perioodil 1951–2015 (trend on statistiliselt oluline Türil).



Joonis 17. Aasta maksimaalse lume paksuse trend 10 aasta kohta perioodil 1951–2015.

3.3 Lumikatte paksuse sesoonne dünaamika

Lumikate tekib sügisel ning enne püsiva lumikatte moodustumist vahelduvad lumeperioodid sulaperioodidega. Püsiva lumikatte moodustumisel detsembris (Mandri-Eestis) hakkab lume paksus kasvama, saavutades maksimumi veebruari lõpus/märtsi alguses, misjärel märtsi lõpus/aprilli alguses toimub kiire lumikatte paksuse vähenemine ja lume sulamine (joonis 18; lisa 1). Lume paksus ei kasva detsembrist märtsini pidevalt, st sulaperioodide tõttu võib lumikate õheneda (joonis 18). Lääne-Eesti saartel moodustub püsiv lumikate mere soojendava mõju tõttu hiljem, jaanuari lõpus ning annikualadel moodustunud lumikate on õhuke. Lumikate saavutab Lääne-Eestis maksimaalse paksuse sarnaselt sisemaale veebruari lõpus/märtsi alguses (joonis 18).

Pikaajalise keskmisena on lumikatte paksus kogu talve vältel suurim Haanja kõrgustikul ning lumikate on paks ka Otepää ja Haanja kõrgustikul. Otepää ja Haanja kõrgustiku ümbritsevatest aladest paksem lumikate ei tule tulemustes selgelt esile, sest seal ei asu ilmajaamu, mille andmeid oleks olnud antud töös võimalik kasutada. Võrdlemisi lumerohke on ka Põhja-Eesti sisemaa ehk piirkond Kuusikust Alutaguseni. Kõige õhem on lumikate Liivi lahe saartel ja Saaremaa lääneosas, kus paljuaastane keskmine lumikatte paksus ei ületa kogu talve jooksul 10 sentimeetrit (lisa 1). Lumevaene on piirkond Võrtsjärve nõost kuni Peipsi järveni. Samuti on lumikate õhem Lääne-Eesti rannikuäärsetel aladel (joonis 19; joonis 20; joonis 21; joonis 22).

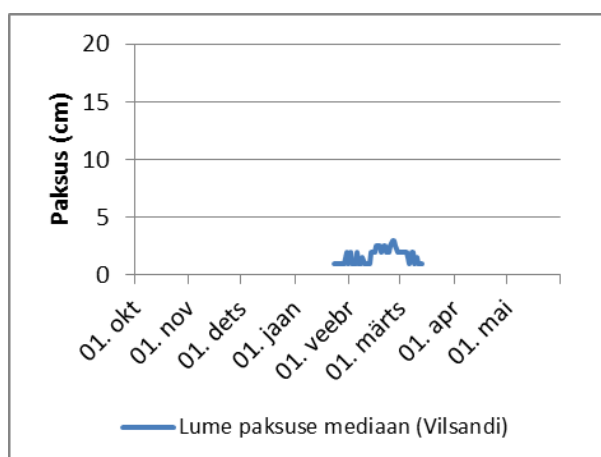
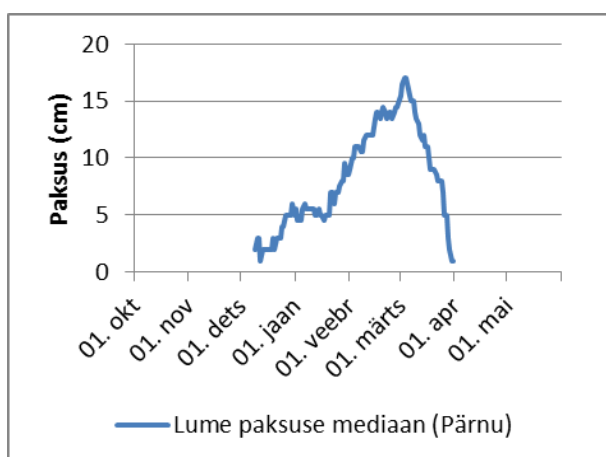
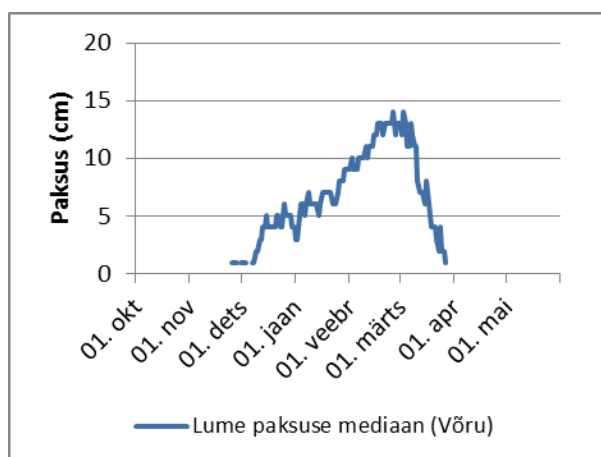
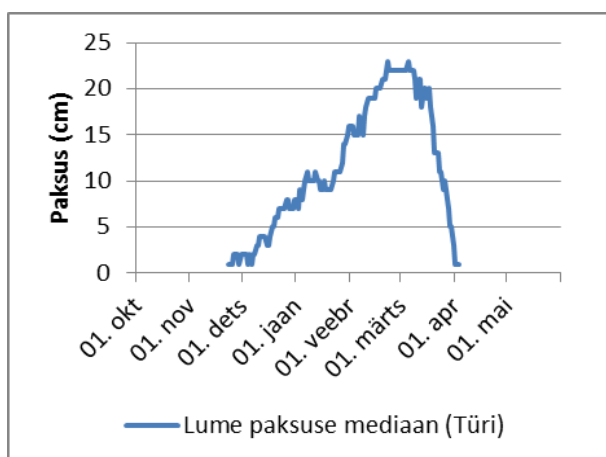
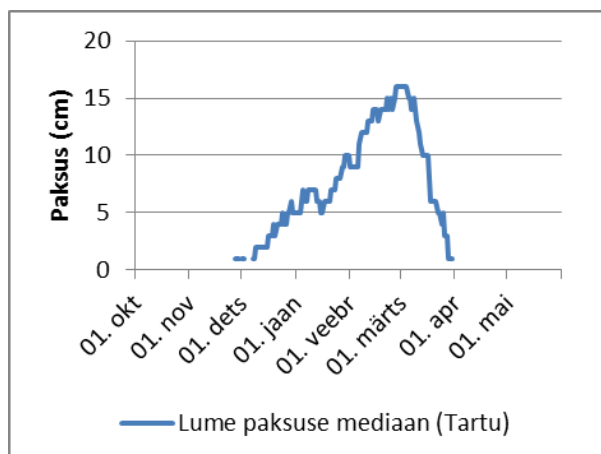
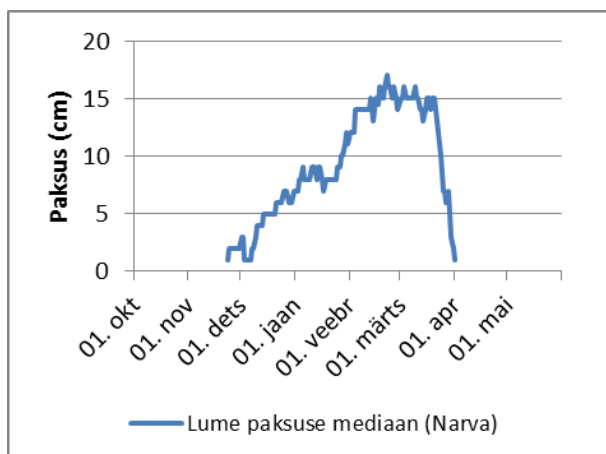
Detsembris on lumikate kõige paksem Pandivere kõrgustikul (Väike-Maarjas keskmiselt 7 cm) ning Kagu-Eestis (Otepää ja Haanja kõrgustikul) (joonis 19, lisa 1). Detsembri esimesel dekaadil on lumi kõige paksem Kirde-Eestis (Väike-Maarjas ja Jõhvis keskmiselt 4 cm), Sise-Eestis katab maad mõne sentimeetri paksune lumekiht. Detsembri viimasel dekaadil võib Väike-Maarjas maad katta 10 cm ning mujal Sise-Eestis 3–9 sentimeetri paksune lumikate (lisa 1). Samas pole harukordsed aastad, mil detsembris ei moodustu kuskil Eestis püsivat lumikatet. Lääne-Eesti saartel detsembris enamasti püsivat lumikatet ei esine (joonis 19).

Jaanuaris jätkub lumikatte paksuse kasv. Kuu lõpuks küündib lumikatte paksus Kirde-Eestis (Väike-Maarja, Jõhvi) keskmiselt 15 sentimeetrini ning Lääne-Eesti saartel moodustub mõne sentimeetri paksune lumikate (lisa 1). Jaanuaris on lumikate kõige paksem Kirde-Eestis (Pandivere kõrgustikul asuvas Väike-Maarjas ja Jõhvis keskmiselt 13 cm) ning Kagu-Eesti kõrgustikel (Otepää, Haanja) (joonis 20). Lumikatte paksus kahaneb põhjaranniku ja Lääne-Eesti suunas ning on saartel vaid mõne sentimeetri paksune (joonis 20).

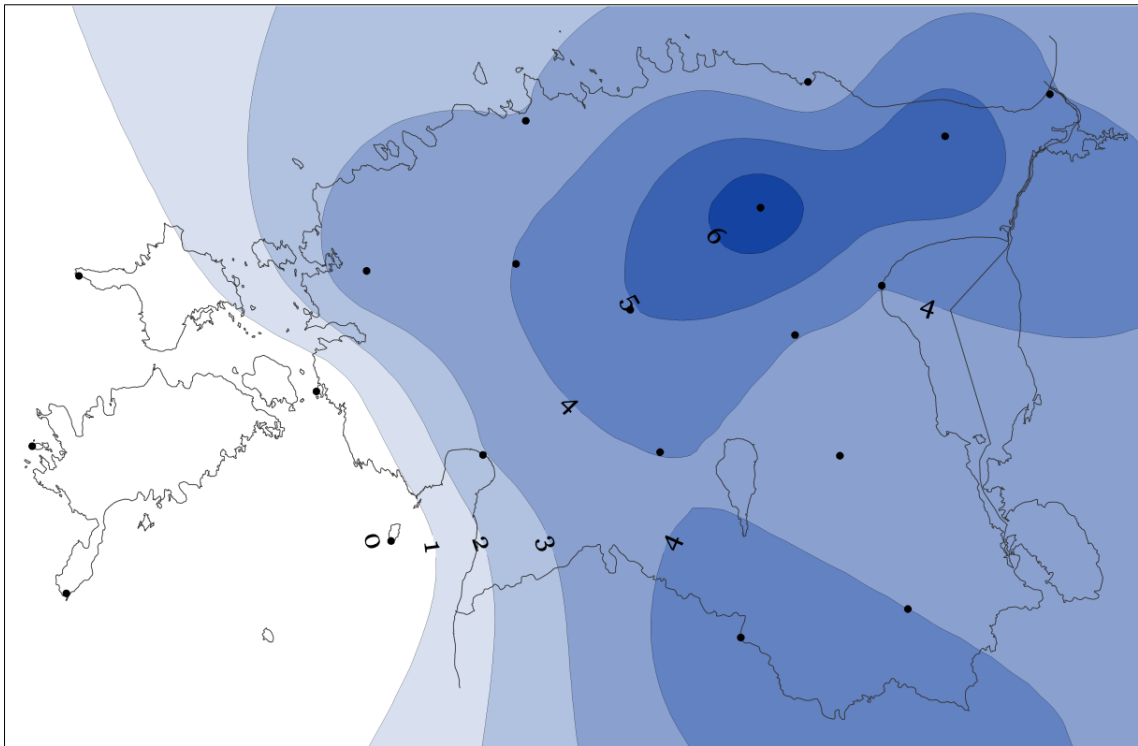
Veebruaris esineb jaanuariga sarnane lume paksuse muster (joonis 22). Lumi on kõige paksem Pandivere kõrgustikul (Väike-Maarjas keskmiselt 21 cm) ning Haanja ja Otepää kõrgustikul. Kõige õhem on lumikate Lääne-Eestis Vilsandil ja Sõrves ning Kihnus (vastavalt 2, 3 ja 4 sentimeetrit). Veebruari lõpus saavutab lumikate paljudes jaamades aasta maksimaalse paksuse (lisa 1).

Lumikatte ruumilise jaotuse muster märtsis sarnaneb jaanuarile ja veebruarile (joonis 22). Märtsi alguses on lumikate paks (mõnel aasta võib märtsis esineda talve kõige paksem lumikate), ulatudes sisemaal keskmiselt üle 15 sentimeetri (Väike-Maarjas üle 20 sentimeetri) (lisa 1). Rannikualadel ja Lääne-Eesti saartel on lumikate õhuke ning sulab sageli enne kuu lõppu.

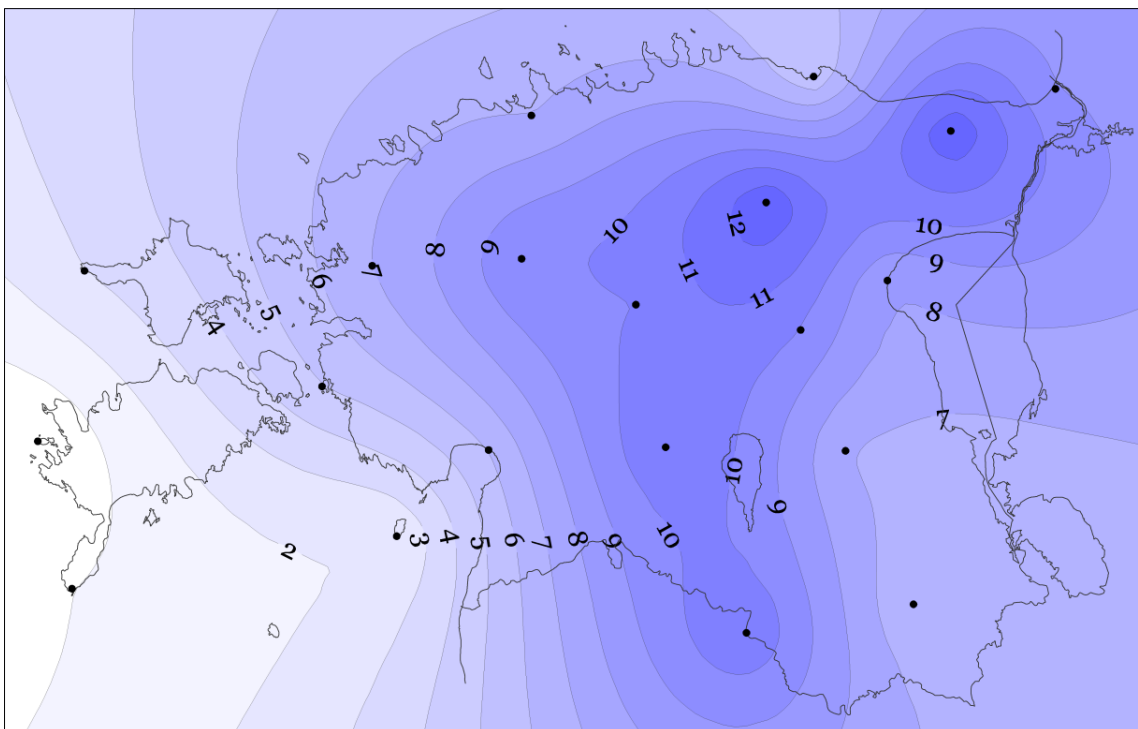
Kvartiilihaarde aastane käik sarnaneb lume paksuse omale, suurenedes detsembrist kuni märtsini ning seejärel väheneb järsult (joonis 23). Kvartiilihaare on suurim märtsi esimesel poolel. Lumikatte paksuse aastatevaheline muutlikkus on suurim paksema lumikattega aladel (Pandivere, Haanja ja Otepää kõrgustikul) ning kõige väiksem Saaremaa läänerannikul.



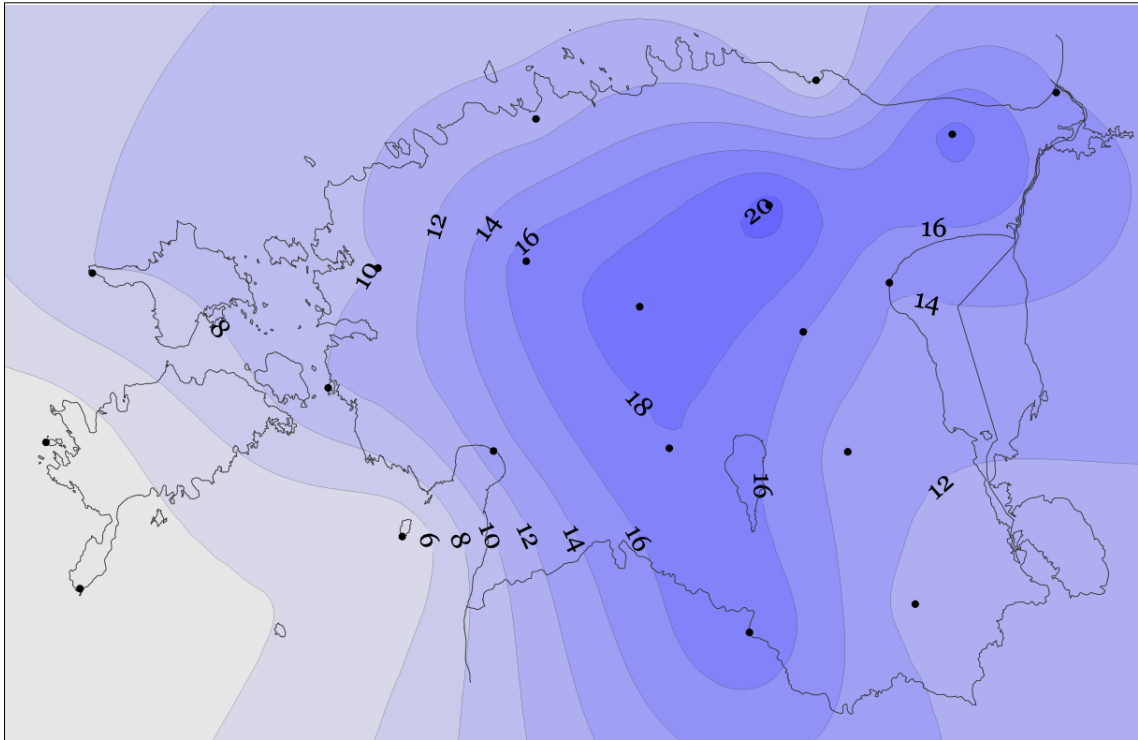
Joonis 18. Lume paksuse mediaan Narvas, Tartus, Türil, Võrus, Pärnus ja Vilsandil perioodil 1951–2015.



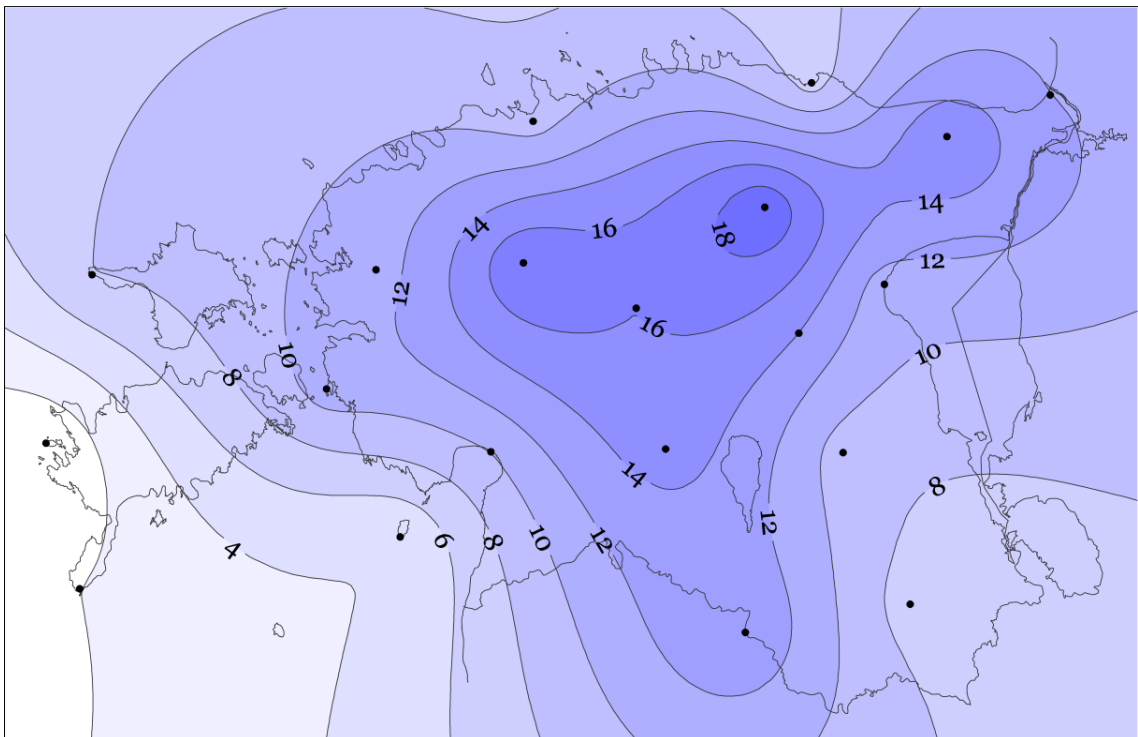
Joonis 19. Lumikatte mediaa keskmine paksus detsembris.



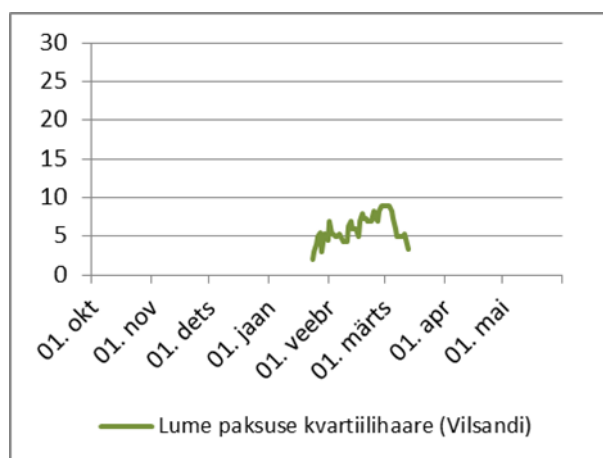
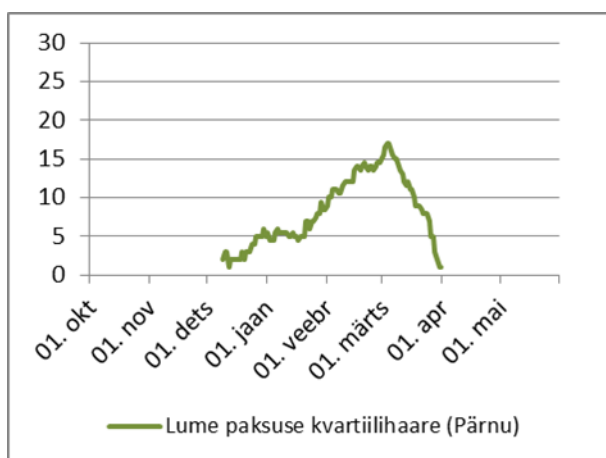
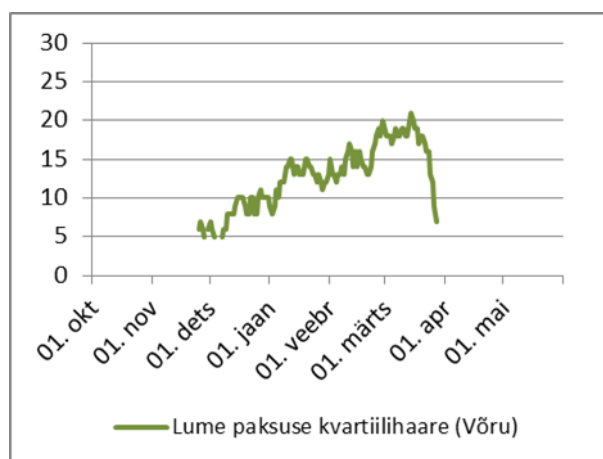
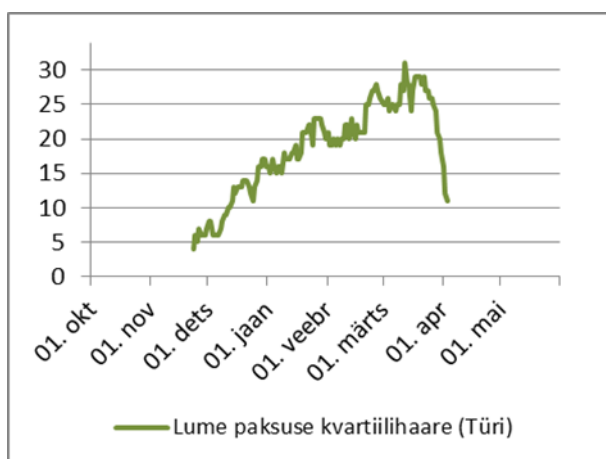
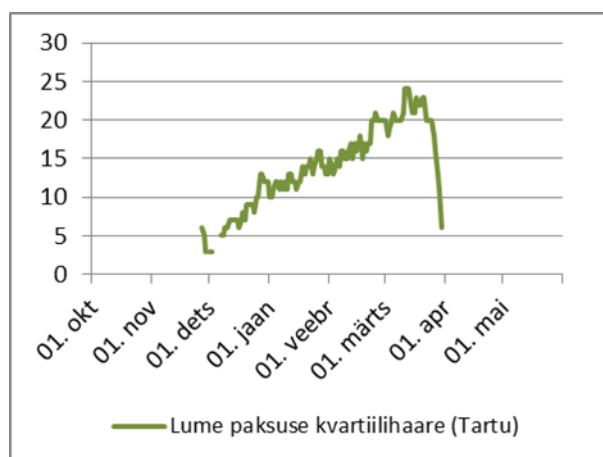
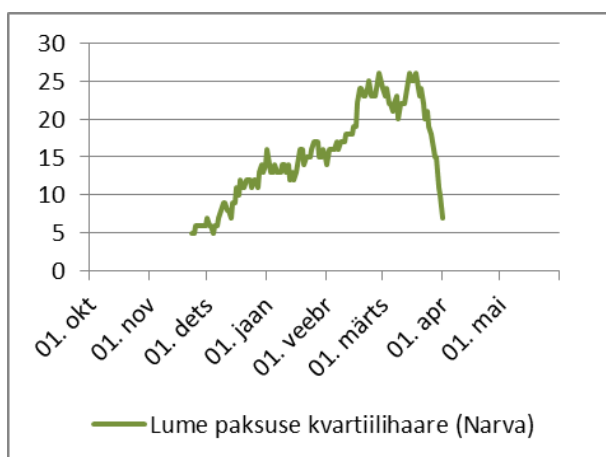
Joonis 20. Lumikatte mediaa keskmine paksus jaanuaris.



Joonis 21. Lumikatte mediaankeskmine paksus veebruaris.



Joonis 22. Lumikatte mediaankeskmine paksus märtsis.



Joonis 23. Lume paksuse kvartiilihaare Narvas, Tartus, Türil, Võrus, Pärnus ja Vilsandil perioodil 1951–2015.

3.4 Trendid lumikatte paksuses

Lumikatte paksuse negatiivne trend esineb jaanuarist kuni märtsi lõpuni, kuid pole kogu selle perioodi jooksul statistiliselt oluline. Muutused lumikatte paksuses on suurimad veebruari lõpus ning märtsis, millal on ka statistiliselt olulisi trende.

Türil, Valgas, Tartus ja Tallinnas esineb jaanuari algusest ja Jõgeval, Kundas ning Pärnus alates jaanuari keskpaigast kuni märtsi kolmanda dekaadi alguseni lumikatte õhenemise trend, mis on statistiliselt usaldusväärne siiski vaid mõnel üksikul päeval. Suurim statistiliselt oluline muutus Jõgeval on aset leidnud 23–25. veebruaril (13 cm kogu perioodi jooksul). Kundas on lume paksuse vähenemise trend statistiliselt usaldusväärne üksnes 12. jaanuaril, mil kogu uurimisperioodi jooksul on lumikate õhenenud viie sentimeetri võrra. Pärnus on trend statistiliselt usaldusväärne märtsi teisel poolel, mil lumikate on kogu uurimisperioodi vältel õhenenud 3–10 sentimeetri võrra (joonis 24). Valgas, Tallinnas ja Tartus statistiliselt olulisi muutusi ei esinenud. Türil on lume paksuse negatiivne trend statistiliselt oluline veebruari lõpus ja märtsis, mil lumikate on õhenenud 10–19 sentimeetrit kogu uurimisperioodi jooksul. Suurim muutus on toimunud veebruari lõpus/märtsi alguses (joonis 24). Võrus esineb veebruari algusest kuni märtsi keskpaigani nõrk negatiivne lume paksuse trend, mis pole statistiliselt usaldusväärne (joonis 24).

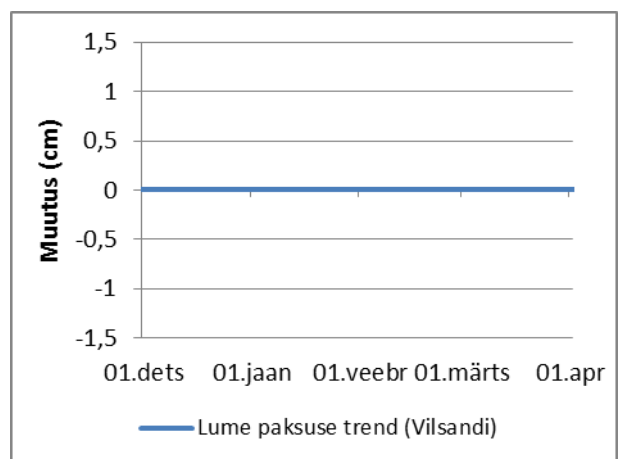
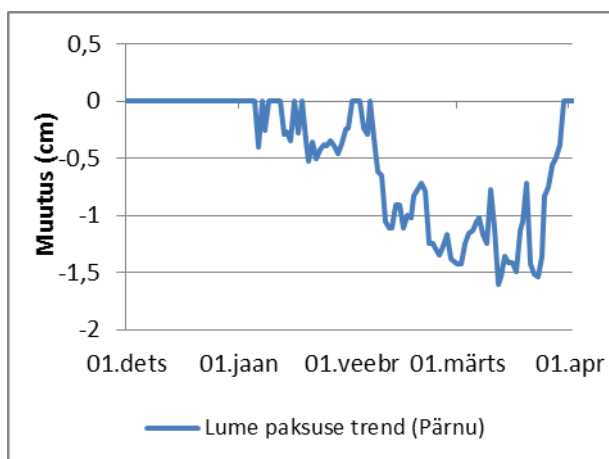
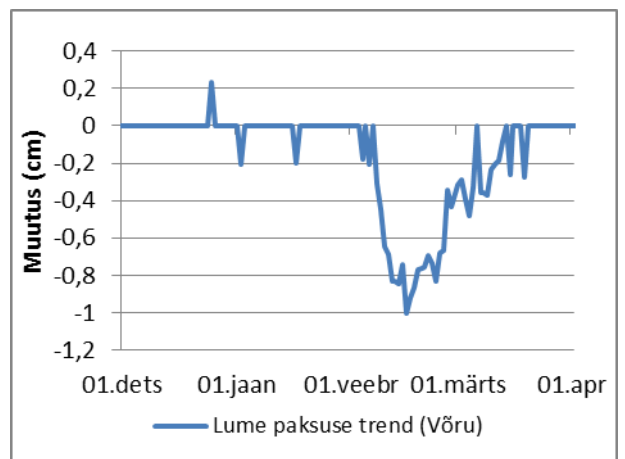
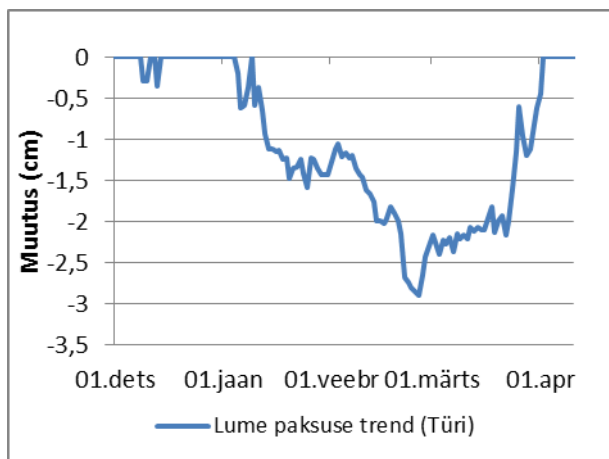
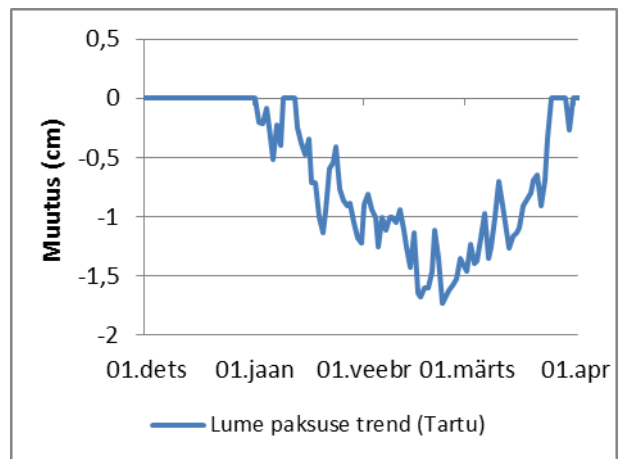
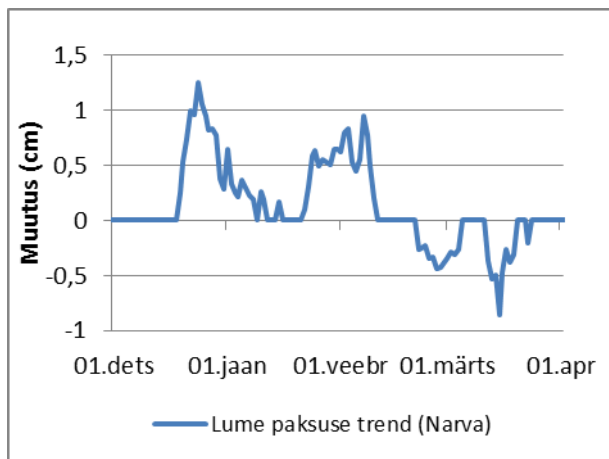
Viljandis esineb lume paksuses detsembri lõpus nõrk positiivne trend, mis pole statistiliselt usaldusväärne. Jaanuari keskpaigast kuni märtsi keskpaigani on trend negatiivne, kui endiselt statistiliselt mitteoluline. Üksnes 25. märtsil on statistiliselt oluline lume paksuse vähenemise trend (4 cm uurimisperioodi kohta).

Jõhvis esineb detsembri teisel dekaadil ja jaanuari esimeses pooles nõrk lumikatte õhenemise trend. Jaanuari lõpus on väike lume paksuse kasvu tendents. Kogu veebruari vältel ja teise dekaadi alguses on trend lumikatte vähenemise suunas. Ükski muutus lumikatte paksuses Jõhvis pole statistiliselt usaldusväärne. Kuusikul on lumikate statistiliselt usaldusväärselt õhenenud detsembri keskel (ligi 3 cm võrra), jaanuari teisel poolel (8–14 cm) ning alates veebruari teisest dekaadist kuni märtsi lõpuni (9–23 cm, kusjuures suurim muutus on aset leidnud veebruari lõpus ja märtsi alguses ning väikseim märtsi lõpus).

Narvas on detsembri viimasest dekaadist kuni veebruari esimese dekaadi lõpuni nõrk lume paksuse suurenemise trend, mis on statistiliselt oluline detsembri lõpus (muutus -6–7 cm uurimisperioodis). Veebruari lõpust kuni märtsi keskpaigani esineb Narvas ülejäänud Eestiga

sarnaselt lume paksuse vähenemise trend, mis pole statistiliselt usaldusväärne (joonis 24). Tiirikojal on sarnaselt Narvale detsembri lõpus lume paksuse suurenemise tendents, mis pole statistiliselt oluline. Alates jaanuari keskpaigast kuni märtsi keskpaigani on Tiirikojal lumikatte õhenemise trend, mis on statistiliselt oluline märtsi kolmanda dekaadi alguses (-5 cm kogu uurimisperioodi kohta).

Ristnas esineb veebruari keskpaigast kuni märtsi alguseni statistiliselt mitteoluline lumikatte õhenemise trend. Märtsi viimasel pentaadil on lumikate vähenenud 1,5–3 sentimeetrit uurimisperioodi kohta (see muutus on statistiliselt oluline). Sõrves lumikatte paksuses statistiliselt olulisi trende ei esine ning veebruari teisel poolel esineb üksikutel päevadel lume paksuse vähenemise tendents. Kihnus võib veebruari teisel poolel täheldada statistiliselt mitteolulist lume paksuse kasvu trendi. Vilsandil ei esinenud lume paksuses ühtegi trendi (joonis 24). Virtsus on jaanuari keskpaigast kuni märtsi lõpuni negatiivne lume paksuse trend, mis on statistiliselt oluline märtsi viimasel dekaadil, mil lumikate on õhenenud kogu uurimisperioodi jooksul 1,5–8,5 sentimeetrit.



Joonis 24. Trendid lumikatte paksuses oktoobrist maini Narvas, Tartus, Türil, Võrus, Pärnus ja Vilsandil perioodil 1951–2015.

4. Kokkuvõte

Käesoleva töö eesmärgiks oli analüüsida püsiva lumikatte algus- ja lõpukuupäeva ning kestuse aastatevahelist ja territoriaalset muutlikkust Eestis; analüüsida lume paksuse sesoonset, aastatevahelist ja territoriaalset muutlikkust ning teha kindlaks pikaajaliste muutuste olemasolunendes näitajates perioodil 1951–2015. Tehes vajalikke arvutusi ööpäevaste keskmiste lume paksuse andmetega jõuti järgmistele järeldustele:

- püsiva lumikatte keskmine alguskuupäev on 24. detsembril, lõpukuupäev 25. märtsil ning kestus 83 päeva ehk ligi 3 kuud;
- püsiv lumikatte moodustub kõige varem Pandivere kõrgustikul Väike-Maarjas (keskmiselt 6. detsembril) ja Kagu-Eesti kõrgustikel ning Lääne-Eesti saartel ligi kuu hiljem (Vilsandil keskmiselt 23. jaanuaril);
- püsiva lumikatte näitajate aastatevaheline varieeruvus on suurim Lääne-Eesti saartel ning väikseim Pandivere kõrgustikul ja Kirde-Eestis;
- püsiva lumikatte algus kogu uurimisperioodi jooksul statistiliselt usaldusväärselt muutunud pole. Püsiva lumikatte lõpp on nihkunud varasemaks 14 jaamas, enim Tartus (4 nädalat). Püsiva lumikatte kestus on statistiliselt oluliselt lühenenud viies jaamas, enim Kundas ja Pärnus (1,5 kuud).
- Aasta maksimaalne lume paksus on suurim Pandivere kõrgustikul ja Kagu-Eesti kõrgustikel (keskmiselt üle 30 sentimeetri). Enamikes jaamades on lumepaksuse vähenemise trend. Suurim statistiliselt oluline muutus on toimunud Kuusikul (-16 cm kogu uurimisperioodi jooksul).
- Lumikatte paksus hakkab suurenema alates püsiva lumikatte moodustumisest detsembris ning saavutab maksimaalse paksuse veebruari lõpus/märtsi alguses, millal sisemaal on lume paksus keskmiselt üle 15 sentimeetri ning Pandivere, Haanja ja Otepää kõrgustikel üle 20 sentimeetri.
- Lume paksuse sesoonne kvartiilihaare on suurim veebruari lõpus/märtsi alguses, millal lume paksus on suurim.
- Lumikatte paksuses esineb negatiivne trend jaanuarist kuni märtsi lõpuni, kuid pole kogu vahemiku jooksul statistiliselt usaldusväärne. Muutused lumikatte paksuses on suurimad veebruari lõpus ning märtsis, millal mitmetes jaamades on trendid statistiliselt olulised.

Long-term changes in snow regime in Estonia during 1951–2015

Birgit Viru

Summary

The aim of this study was to analyse spatial and temporal variability of the start and end dates and duration of the permanent snow cover; spatial, temporal and seasonal variability of median and maximum snow depth in Estonia and to determine the presence of long-term changes of these parameters during the period 1951–2015. Daily average snow depth series of 11 meteorological stations for the full period and 13 additional stations for shorter periods were processed in order to obtain reliable estimates of changes in the snow regime.

Long-term variability was characterized by quartile range. Sen's method and Mann-Kendall test was used to identify and analyse the trend.

The following was concluded:

- on the average, the permanent snow cover start date was December 24, the end date was March 25, and the duration resulted in 83 days, which is nearly three months;
- permanent snow cover was formed at the earliest on Pandivere Upland in Väike-Maarja (on the average on the 6th December) and on South-Estonian uplands and on the West-Estonian islands about a month later (on Vilsandi on the average on the 23th January);
- permanent snow cover characteristics interannual variability was the largest on the West-Estonian islands and the smallest on Pandivere Upland and North-Eastern Estonia;
- the beginning of the permanent snow cover has not statistically reliably changed throughout the research period. The end date of the permanent snow cover advanced at 14 stations, the most in Tartu (4 weeks). Permanent snow cover duration was statistically significantly shortened at five stations, the most in Kunda and Pärnu (1,5 months).
- The maximum snow depth was the deepest on Pandivere upland and on South-Eastern Estonia (on average more than 30 centimetres). At most stations there were decreasing trend of annual maximum snow depth. The largest statistically significant change had occurred in Kuusiku (-16 cm throughout the entire investigation period).

- Snow depth starts to increase after the permanent snow cover is formed in December and reaches to the maximum in late February/early March, when the average thickness of the snow in inland is more than 15 cm, and on Pandivere, Haanja and Otepää uplands more than 20 centimetres.
- Seasonal snow depth interquartile range was the largest at the end of February / beginning of March, when the snow thickness was the greatest.
- There was a negative trend of snow cover depth from January to the end of March. Trend was not statistically reliable all months. Changes in snow cover thickness was greatest at the end of February and in March, when there were statistically significant trends at many stations.

Tänuavaldused

Oma töö valmimise, sellesse panustatud aja ning nõuannete eest tänan oma juhendajat prof Jaak Jaagust.

Kasutatud kirjandus

- Arkian, F., Karimkhani, M., & Taheri, H. R. (2014). Variability and Trends in the Duration and Depth of Snow Cover in Iran in Thirty Years. *Journal of Earth Science & Climatic Change*, 5(10), 1.
- Armstrong, R. L., & Brun, E. (2008). *Snow and Climate*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Bednorz, E. (2004). Snow cover in Eastern Europe in relation to temperature, precipitation and circulation. *International Journal of Climatology*(24), 591-601.
- Bednorz, E. (2007). Zmiany występowania pokrywy śnieżnej w północnych Niemczech w latach 1950/51-1999/00. (K. Piotrowicz, & R. Twardosz, Toim-d) *Wahania klimatu w różnych skalach przestrzennych i czasowych*, 215-223.
- Bednorz, E., & Kossowski, T. (2004). Long-term changes in snow cover depth in Eastern Europe. *Climate Research*(27), 231-236.
- Blunden, J., & Arndt, D. S. (Toim-d). (2015). State of the Climate in 2014. *Bull. Amer. Meteor. Soc*, 96(7), S1-S267.
- Brown, R. D., & Robinson, D. A. (2011). Northern Hemisphere spring snow cover variability and change over 1922–2010 including an assessment of uncertainty. *The Cryosphere*(5), 219-229.
- Bulygina, O. N., Groisman, P. Y., Razuvaev, V. N., & Korshunova, N. N. (2011). Changes in snow cover characteristics over Northern Eurasia since 1966. *Environ. Res. Lett.*, 4(4), 045026.
- Bulygina, O. N., Razuvaev, V. N., & Korshunova, N. N. (2009). Changes in snow cover over Northern Eurasia in the last few decades. *Environmental Research Letters*, 4(4).
- Cazacioc, L. (2007). Spatial differences over Romania of the snow cover variability in relationship to temperature and atmospheric circulation. In *29-th International Conference on Alpine Meteorology. Extended Abstracts. Oral Sessions*(1).

- Choi, G., Robinson, D. A., & Kang, S. (2010). Changing Northern Hemisphere Snow Seasons. *American Meteorological Society*(23), 5305-5310.
- Draveniece, A., Briede, A., Rodionovs, V., & Klavinš, M. (2007). Long-term changes of snow cover in Latvia as indicator of climate change. (M. Klavinš, Toim.) *Climate Change in Latvia*, 73-86.
- Dyer, J. L., & Mote, T. L. (2006). Spatial variability and trends in observed snow depth over North America. *Geophysical Research Letters*, 33(16).
- Dyrddal, A. V. (2009). Trend analysis of number of snow days per winter season in Norway. *Met. no report*(7).
- Dyrddal, A. V., & Vikhamar-Schuler, D. (2009). *Analysis of long-term snow series at selected stations in Norway*. Oslo, Norway: Norwegian Meteorological Institute.
- Dyrddal, A. V., Saloranta, T., Skaugen, T., & Stranden, H. B. (2013). Changes in snow depth in Norway during the period 1961-2010. *Hydrol. Res.*(44), 169-179.
- Estilow, T. W., Young, A. H., & Robinson, D. A. (2015). A long-term Northern Hemisphere snow cover extent data record for climate studies and monitoring. *Earth Syst. Sci. Data*(7), 137-142.
- Falarz, M. (2004). Variability and trends in the duration and depth of snow cover in Poland in the 20th century. *International Journal of Climatology*(24), 1713-1727.
- Frey, T. (1998). *Lumikeskkond*. Tartu: Eesti Vabariiklik Keskkonnaministeerumi Info- ja Tehnokeskus.
- IPCC. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental*. (T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, . . . P. M. Midgley, Toim-d) Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- Jaagus, J. (1997). The impact of climate change on the snow cover pattern in Estonia. *Climatic Change*(36), 65-77.

- Jaagus, J. (1999). Interactions between snow cover duration, extent of sea ice and winter mean air temperature in Estonia. (A. Järvet, Toim.) *Publ. Inst. Geogr. Univ. Tartuensis*(84), 74-83.
- Jaagus, J. (1999). Uusi andmeid Eesti kliimast. *Publicationes Instituti Universitatis Tartuensis*(85), 28-38.
- Jaagus, J. (2001). Kliimakalender. *Publicationes Instituti Geographici Universitas Tartuensis*(90), 9-25.
- Jaagus, J. (2003). Kliimamuutuste tendentsid Eestis 20. sajandi teisel poolel seostatuna muutustega atmosfääri tsirkulatsioonis. Uurimusi Eesti kliimast. *Publ. Inst. Geogr. Univ. Tartuensis*(93), 62-78.
- Jaagus, J. (2006). Climatic changes in Estonia during the second half of the 20th century in relationship with changes in large-scale atmospheric circulation. *Theoretical and Applied Climatology*(83), 77-88.
- Ji, Z., & Kang, S. (2013). Projection of snow cover changes over China under RCP scenarios. *Clim. Dynam.*(41), 589-600.
- Ke, C. Q., Li, Z. C., Xie, H., Liu, X., & Kou, C. (2015). Variability in snow cover phenology in China from 1952 to 2010. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss*(12), 4471-4506.
- Ke, C. Q., Yu, T., Yu, K., Tang, G. D., & King, L. (2009). Snowfall trends and variability in Qinghai, China. *Theor. Appl. Climatol.*(98), 251–258.
- Keevallik, S. (2003). Trendid meteoroloogiliste parameetrite ja nende seos õhuvooluga vabas atmosfääris. *Publicationes Instituti Geographici Universitatis Tartuensis*(93), 53-60.
- Kellomäki, S., Maajärvi, M., Strandman, H., Kilpeläinen, A., & Peltola, H. (2010). Model computations on the climate change effects on snow cover, soil moisture and soil frost in the boreal conditions over Finland. *Silva Fennica*, 44(2), 213-233.
- Kirde, K. (1939). Andmeid Eesti kliimast. Data on Estonian climate. *Tartu Ülikooli Meteoroloogia Observatooriumi teaduslikud väljaanded*, 3, 153.
- Li, D., Liu, Y., Yu, H., & Li, Y. (2009). Spatial–temporal variation of the snow cover in Heilongjiang Province in 1951–2006. *J. Glaciol. Geocrol*(31), 1011-1018.

- Liidemaa, H. (1946). *Soojuse ringvool lumikattes*. Tartu: Teaduslik Kirjandus.
- Ma, L., & Qin, D. (2012). Temporal-spatial characteristics of observed key parameters of snow cover in China during 1957–2009. *Sci. Cold Arid Reg.*(4), 384-393.
- Marty, C. (2008). Regime shift of snow days in Switzerland. *Geophysical Research Letters*(35), L12501.
- Pederson, G. T., Betancourt, J. L., & Gregory, J. M. (2013). Regional patterns and proximal causes of the recent snowpack decline in the Rocky Mountains, U. S. *Geophys. Res. Lett.*(40), 1811-1816.
- Peng, S., Piao, S., Ciais, P., Fang, J., & Wang, X. (2010). Change in winter snow depth and its impacts on vegetation in China. *Global Change Biology*, 16(11), 3004-3013.
- Peng, S., Piao, S., Ciais, P., Friedlingstein, P., Zhou, L., & Wang, T. (2013). Change in snow cover phenology and its potential feedback to temperature in the Northern Hemisphere over the last three decades. *Environmental Research Letters*(8), 014008.
- Qin, D., Liu, S., & Li, P. (2006). Snow cover distribution, variability, and response to climate change in western China. *Journal of Climate*(19), 1820-1833.
- Rimkus, E., Kažys, J., Butkutė, S., & Gečaitė, I. (2014). Snow cover variability in Lithuania over the last 50 years and its relationship with large-scale atmospheric circulation. *Boreal Environment Research*(19), 337-351.
- Robinson, D. A., & Dewey, K. F. (1990). Recent secular variations in the extent of Northern Hemisphere snow cover. *Geophys. Res. Lett.*(17), 1557-1560.
- Salmi, T., Määttä, A., Anttila, P., Ruoho-Airola, T., & Amnell, T. (2002). Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates-the Excel template application MAKESENS. *Publications on air quality*.
- Shi, Y., Gao, X., Wu, J., & Giorgi, F. (2011). Changes in snow cover over China in the 21st century simulated by a high resolution regional climate model. *Environ. Res. Lett.*(6), 045401.

- Takala, M., Pulliainen, J., Metsämäki, S. J., & Koskinen, J. T. (2009). Detection of snowmelt using spaceborne microwave radiometer data in Eurasia from 1979-2007. *IEEE T Geosci Remote*(47), 2996-3007.
- Tang, X., Yan, X., Ni, M., & Lu, Y. (2012). Changes of the snow cover days on Tibet Plateau in last 40 years. *Acta. Geogr. Sin*(67), 951-959.
- The BACC II Author Team. (2015). *Second Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin*. Springer.
- Tomingas, O. (2003). Atmosfääri tsirkulatsiooni indeksid Eesti jaoks ja nende seos ilmastiku kõikumistega. *Publicationes Instituti Geographici Universitas Tartuensis*(93), 80-101.
- Tooming, H. (1990). *Albedo ja kliima. Tartu kliima ja selle muutumine viimastel kümnenditel = Climate of Tartu and its changes during the recent decades : [artiklite kogumik]*. Tartu: Eesti Teaduste Akadeemia, Astrofüüsika ja Atmosfäärifüüsika Instituut.
- Tooming, H. (1995). Dependence of surface albedo on snow cover duration and other snow parameters in Estonia. *Meteorol. Zeitschrift*, 4, 62-66.
- Tooming, H. (1996). Changes in surface albedo and air temperature at Tartu, Estonia. *Tellus*, 48 A, 722-726.
- Tooming, H. (2002). Dependence of global radiation on cloudiness and surface albedo in Tartu, Estonia. *Theor. Appl. Climatol.*, 72, 165-172.
- Tooming, H. (2003). Talve ja kevade seosed Eesti kliimas. Uurimusi Eesti kliimast. (J. Jaagus, Toim.) (93), 129-141.
- Tooming, H., & Kadaja, J. (1992). Changes in snow cover and surface albedo in Estonia during the last 100 years. *Meteorologische Zeitschrift*, 4(2), 67-71.
- Tooming, H., & Kadaja, J. (1999a). Climate changes indicated by trends in snow cover duration and surface albedo in Estonia. *Meteorol. Zeitschrift*(8), 16-21.
- Tooming, H., & Kadaja, J. (1999b). Lumikate ja aluspinna albedo Eestis. *Publicationes Instituti Geographici Universitatis Tartuensis*(85), 61-72.
- Tooming, H., & Kadaja, J. (2000). Snow cover and surface albedo in Estonia. *Meteorol. Zeitschrift*(9), 97-102.

- Tooming, H., & Kadaja, J. (2006). *Eesti lumikatte teatmik = Handbook of Estonian snow cover*. (A. Kallis, Toim.) Tallinn-Saku: Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituut, Eesti Maaviljeluse Instituut.
- Urban, G. (2016). Snow cover and its variability in the Polish Sudetes Mts. and the Sudetic Foreland. *Geografie*, 121(1), 32-53.
- Valt, M., & Paola, C. (2013). Valt, M., & Paola, C. (2013). Climate change in Italian Alps: Analysis of snow precipitation, snow durations and avalanche activity. *International Snow Science Workshop*, 1247-1250.
- Wang, C., & Li, D. (2012). Spatial-temporal variations of the snow cover days and the maximum depth of snow cover in China during recent 50 years. *J. Glaciol. Geocrol*(34), 247-256.
- Wang, C., Wang, Z., & Cui, Y. (2009). Snow cover of China during the last 40 years: spatial distribution and interannual variation. *J. Glaciol. Geocrol*(31), 301-310.
- Xi, Y., Li, D., & Wang, W. (2009). Study of the temporal-spatial characteristics of snow covers days in Hetao and its vicinity. *J. Glaciol. Geocrol*(31), 446-456.
- Ye, H., & Ellison, M. (2003). Changes in transitional snowfall length in northern Eurasia. *Geophysical Research Letters*, 30(5), 1252.
- You, Q. K. (2011). Observed changes in snow depth and number of snow days in the eastern and central Tibetan Plateau. *Climate Research*, 46(2), 171.

Lisad

Lisa 1. Dekaadide ja kuude mediaankeskmise lume paksus (cm) novembrist märtsini perioodil 1951–2015.

	XI				XII				I				II				III			
	I	II	III	Kuu	I	II	III	Kuu	I	II	III	Kuu	I	II	III	Kuu	I	II	III	Kuu
Heltermaa*	-	-	-	-	-	-	-	-	5	3	4	4	7	7	8	7	8	5	-	7
Jõgeva*	-	-	2	-	2	5	6	4	8	10	11	10	14	16	18	16	17	16	8	14
Jõhvi*	-	-	3	-	4	6	9	6	11	12	15	13	17	20	21	19	19	18	10	16
Kihnu	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	3	2	3	4	6	4	5	3	2	4
Kunda*	-	-	-	-	-	2	4	3	5	5	6	5	8	10	11	8	11	7	3	7
Kuressaare*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	6	5	7	9	10	8	7	7	5	7
Kuusiku	-	-	1	-	2	4	5	4	8	10	12	10	16	18	19	17	20	20	14	18
Lääne-Nigula*	-	-	-	-	-	-	4	4	6	6	8	7	9	10	11	10	12	10	-	11
Narva	-	-	2	-	2	5	6	4	8	8	9	9	13	15	16	14	15	14	8	12
Pakri*	-	-	-	-	-	-	2	-	3	3	3	3	5	6	7	6	5	-	-	-
Pärnu	-	-	-	-	-	2	4	3	5	5	8	6	11	13	14	13	16	11	5	10
Ristna*	-	-	-	-	-	-	1	-	2	2	3	3	6	9	10	8	11	8	5	8
Sõrve*	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	2	1	3	4	4	3	2	1	-	2
Tallinn	-	-	-	-	-	2	5	3	6	8	8	7	11	11	13	11	15	8	3	9
Tartu	-	-	-	-	1	3	5	3	6	6	8	7	10	12	15	13	15	9	3	9
Tiirikoja	-	-	2	-	2	4	6	4	7	8	9	8	12	13	16	14	16	13	5	11
Türi	-	-	2	-	2	4	7	5	9	10	12	10	16	20	22	19	22	19	9	16
Valga*	-	-	-	-	2	6	7	5	8	10	14	11	16	19	21	18	20	15	6	14
Viljandi	-	-	1	-	2	4	6	4	9	10	13	11	16	18	22	18	20	17	8	15
Vilsandi*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	2	2	2	2	-	-	-
Virtsu	-	-	-	-	-	-	3	-	4	5	6	5	8	10	12	10	14	13	6	11
Võru	-	-	1	-	1	4	5	4	5	6	8	6	10	12	13	11	12	6	3	7
Väike-Maarja*	-	-	4	-	4	7	10	7	12	13	15	13	20	21	23	21	22	22	17	20

*jaama aegrida on lühem kui uurimisperiood

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Birgit Viru,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Pikaajalised muutused lumikatterežiimis Eestis perioodil 1951–2015“, mille juhendaja on Jaak Jaagus,
 - 1.1.reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
 - 1.2.üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, **23.05.2016**